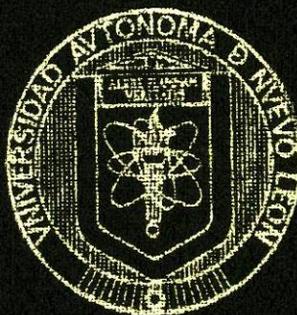


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



"TOLERANCIA A LA SEQUIA EN DIFERENTES
GENOTIPOS DE ZACATE BUFFEL (Cenchrus ciliaris)

T E S I S

QUE EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA

CARLOS COSTANTINO CRUZ HERNANDEZ

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1988

T

SB201

.B8

C7

C.1



1080061671

T
28201
88
U

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"TOLERANCIA A LA SEQUIA EN DIFERENTES GENOTIPOS DE
ZACATE BUFFEL (*Cenchrus ciliaris*)

Tesis que presenta CARLOS COSTANTINO CRUZ HERNANDEZ
para obtener el título de INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA



Examen parcial

COMISION REVISORA :

"TOLERANCIA A LA SEQUIA EN DIFERENTES
GENOTIPOS DE ZACATE BUFFEL (*Cenchrus ciliaris*)

M.Sc. ULRICO R. LOPEZ HERNANDEZ
Asesor Principal

TESIS

QUE EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA
CARLOS COSTANTINO CRUZ HERNANDEZ

M.Sc. ...
Asesor Auxiliar

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 1988

MARIN, N.L.

FEBRERO DE 1988.

09460
✓

T
SB 201
.B8
C7

040.633

FA 26

1988

C.5


Biblioteca Central
Maana Solidaridad
F. Tesis

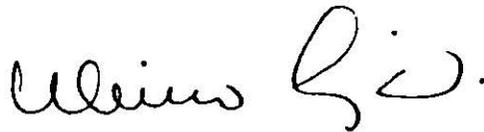

BU RADI RANGSI FIS
UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

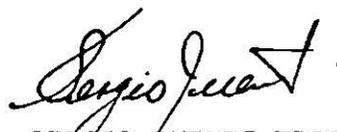
"TOLERANCIA A LA SEQUIA EN DIFERENTES GENOTIPOS DE
ZACATE BUFFEL (Cenchrus ciliaris)

Tesis que presenta CARLOS COSTANTINO CRUZ HERNANDEZ como requisito parcial para obtener el título de INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA.

COMISION REVISORA :



M.Sc. ULRICO R. LOPEZ DOMINGUEZ
Asesor Principal



M.Sc. SERGIO PUENTE TRISTAN
Asesor Auxiliar

La realización de este trabajo forma parte del Programa de Investigación en el Proyecto de Arbustivas y Gramíneas Forrajeras de Temporal del Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (CIA-FAUANL).

A MIS PADRES:

C.P. Cecilio Cruz Degollado

Sra. Imelda Hernández de Cruz

Por su fé en mí.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más sincero agradecimiento a las personas e instituciones que contribuyeron a la realización del presente trabajo.

Asesor Principal: Ing. M.Sc. Ulrico R. López Domínguez
Por su asesoría, dirección y permanente ayuda.

Asesor Auxiliar: Ing. M.Sc. Sergio Puente Tristán
Por su amistad y sus enseñanzas.

Ing. Agr. Daniel Becerra García
Por su ayuda en el análisis estadístico en el Centro de Computo y Cálculo.

Sra. Yolanda Díaz Torres, por su ayuda en el mecanografiado de este escrito.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.	xv
1. INTRODUCCION.	1
2. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1. Efectos fisiológicos del estrés hídrico en la planta.	3
2.2. Adaptaciones de las plantas contra la sequía.	4
2.2.1. Plantas que evaden la sequía.	5
- Los medios de dispersión de las semillas.	5
- Los inhibidores de la germinación. !	6
- El vigor de la plántula.	6
2.2.2. Plantas que toleran la sequía.	7
- El retardo en la deshidratación..	7
' La reducción en el área foliar.	7
' El cierre de los estomas.	8
' El sistema radicular.	8
- La tolerancia a la deshidratación.	9
' La abundancia de tejidos fibrosos.	10
' La dormancia.	10
' El rebrote.	11
3. MATERIALES Y METODOS.	13
3.1. Ubicación del experimento.	13
3.2. Material genético	13
3.3. Fase I: Germinación.	14
3.3.1. Material genético.	14

	Página
3.3.2. Diseño experimental.	14
3.3.3. Métodos.	15
3.4. Fase 2: Establecimiento.	15
3.4.1. Material genético.	15
3.4.2. Diseño experimental.	15
3.4.3. Métodos.	16
3.5. Fase 3: Plantas adultas.	17
3.5.1. Material genético.	17
3.5.2. Diseño experimental	18
3.5.3. Métodos.	18
4. RESULTADOS.	20
4.1. Fase 1: Germinación.	20
4.2. Fase 2: Establecimiento.	25
4.2.1. Altura del primer tallo.	25
4.2.2. Número de hojas del primer tallo.	26
4.2.3. Número de hijuelos.	27
4.2.4. Número de hojas de los hijuelos.	28
4.2.5. Altura promedio de los hijuelos.	29
4.2.6. Efecto del estrés hídrico sobre el establecimiento de las plántulas de zacate Buffel.	30
4.3. Fase 3: Plantas Adultas.	43
4.3.1. Altura de la planta.	43
4.3.2. Número de tallos primarios.	45
4.3.3. Número total de hojas.	48
4.3.4. Número de hojas verdes:	51

	Página
4.3.5. Número de hijuelos.	53
4.3.6. Peso seco del follaje.	55
4.3.7. Peso seco de la raíz.	58
4.3.8. Número de raíces seminales.	60
4.3.9. Proporción de materia seca aérea/materia seca de la raíz (MSA/MSR).	63
5. DISCUSION.	83
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	98
7. BIBLIOGRAFIA.	101
8. APENDICE.	105

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Efecto del sustrato sobre el porcentaje de germinación en variedades de zacate Buffel.	22
2	Promedios de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel en dos diferentes sustratos.	23
3	Comparación de medias (DMS) de los porcentajes de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel en dos sustratos diferentes.	23
4	Efecto de dos niveles de humedad en el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.). Análisis de Varianza (Cuadrados Medios).	33
5	Efecto de dos niveles de humedad en el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.). Comparación de Medias (DMS).	34
6	Efecto de tres niveles hídricos sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) ANOVAS (Cuadrados Medios)	35
7	Efecto de tres niveles hídricos sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.). Comparación de Medias (DMS)..	36

8	Efecto de tres niveles de humedad sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) Rangos y Medias.	37
9	Correlaciones Fase 2: Establecimiento de plántulas de zacate Buffel creciendo en condiciones controladas de humedad.	38
10	Correlaciones Fase 2: Establecimiento de plántulas de zacate Buffel creciendo en condiciones naturales de humedad.	39
11	Efecto de tres niveles de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Análisis de Varianza (Cuadrados Medios).	66
12	Efecto de tres niveles de humedad sobre el desarrollo de zacate Buffel. Prueba de comparación de medias (DMS).	67
13	Efecto del nivel de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Análisis de Varianza (Cuadrados Medios).	68
14	Comparación de las cuatro variedades en la prueba de campo. Análisis de Campo (Cuadrados Medios). . .	69
15	Efecto de cuatro niveles de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Comparación de Medias (DMS).	70

16	Efecto del nivel hídrico sobre el comportamiento de cuatro genotipos de zacate Buffel. Rangos de parámetros.	71
17	Correlaciones Fase 3: Plantas de zacate Buffel creciendo en condiciones controladas de humedad. . . .	72
18	Correlaciones Fase 3: Plantas de zacate Buffel creciendo en condiciones naturales de humedad. . . .	73

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Aumento en el porcentaje de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel: Molopo, Nueces, Biloela, Gayndah al utilizar arena como sustrato en comparación a las cajas de Petri.	24
2	Tendencia de la altura de las plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	40
3	Número de hojas del primer tallo de plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	40
4	Tendencia de la producción de hijuelos en plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	41
5	Número de hojas de las plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes niveles de humedad.	41
6	Producción de hojas por cada hijuelo de las plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes niveles de humedad.	42

Figura	Página	
7	Tendencia de la altura promedio de los hijuelos de plántulas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes niveles de humedad.	42
8	Tendencia de la altura de las plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad: óptima, intermedia sequía y campo.	74
9	Número de tallos primarios de plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	74
10	Número total de hojas de plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	75
11	Tendencia del número de hojas verdes de las plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) desarrollándose en diferentes condiciones de humedad.	75
12	Producción de hijuelos de las plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) en diferentes niveles de humedad.	76
13	Aumento del peso seco del follaje de las plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.	76

14 Tendencia del desarrollo de la raíz (peso seco/g) en plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad. 77

15 Desarrollo de las raíces seminales de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) en diferentes condiciones de humedad. 77

16 Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) en diferentes condiciones de humedad; cuanto más alta es la proporción MSA/MSR, mayor será el desarrollo del follaje en comparación al desarrollo de la raíz. 78

17 Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) variedad Gayndah al crecer en diferentes condiciones de humedad. 79

18 Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) variedad Común al crecer en diferentes condiciones de humedad. 80

19 Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) variedad Llano, al crecer en diferentes condiciones de humedad. 81

20	Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.) variedad Biloela al crecer en diferentes condiciones de humedad.	82
21	Tolerancia a la sequía en zacate Buffel (<u>Cenchrus ciliaris</u> L.). Características de evasión y tolerancia a sus efectos.	97

RESUMEN

El zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) es una especie forrajera que ha tenido una amplia difusión en las regiones tropicales y subtropicales con una larga estación de sequía. El presente estudio describe el crecimiento y desarrollo de diferentes genotipos de zacate Buffel en condiciones de humedad controlada y condiciones naturales. Para los propósitos del estudio, el trabajo se dividió en tres fases: Fase 1: Germinación; Fase 2: Establecimiento, plantas de 15 días se observaron hasta los dos meses de edad y Fase 3: Plantas adultas, plantas de dos meses hasta los cinco meses de edad. En cada fase se observaron diferentes parámetros de crecimiento comparando los cambios en las características morfológicas ocasionados por los efectos fisiológicos del estrés hídrico, para evaluar la habilidad de las plantas para tolerar las condiciones de sequía. La información presentada debe servir no sólo como fuente de información básica sobre la tolerancia a la sequía de esta especie, sino como referencia para conocer la autoecología de esta especie y el comportamiento de los diferentes genotipos en el norte de México.

I. INTRODUCCION

La producción de los pastizales de las zonas áridas ha venido decreciendo a través de los últimos años a causa del sobrepastoreo, poco a poco las especies vegetales más deseables han ido desapareciendo al no permitirles que se repusieran del intenso pastoreo, destruyendo el equilibrio natural a tal grado que en algunos casos es casi imposible reestablecer la vegetación original. El mejoramiento natural de los pastizales requiere corregir la causa del deterioro, el sobrepastoreo; gran cantidad de agostaderos tendrían que dejarse de pastorear muchos años, situación poco práctica y económicamente insostenible. Una de las alternativas para la regeneración de los pastizales y al mismo tiempo para obtener buenas ganancias es la resiembra en los agostaderos de especies forrajeadas de alta producción; sin embargo, los intentos por mejorar la cobertura de los pastizales y aumentar la producción a corto plazo han ocasionado algunos errores como la destrucción de los pastizales nativos por la siembra de pastos introducidos desconocidos y los planes de manejo que se ejecutan sin contar con la información necesaria, acelerando la desertificación.

En las zonas semiáridas del norte de México el zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) ha demostrado ser una buena alternativa para la regeneración de los pastizales y un excelente medio para aumentar la producción de carne; sin embargo,

los conocimientos en el manejo de esta especie se han desarrollado hasta el grado en que es difícil avanzar más sin una mejor comprensión de su autoecología y comportamiento en las condiciones limitadas de humedad. En el manejo y utilización del zacate Buffel, una especie tan difundida en los extensos pastizales de las zonas semiáridas donde las condiciones de sequía son quizás el factor ambiental que ocasiona mayores pérdidas, la tolerancia a la sequía ha sido objeto de grandes especulaciones y marcadas diferencias de opinión entre las personas que intervienen en su manejo y conservación, esto es debido a la falta de información básica respecto al comportamiento de esta especie en nuestro medio, porque la mayoría de las personas que manejan esta especie se guían más por consideraciones y opiniones personales que por antecedentes comprobados, los cuales son más escasos.

Los objetivos que se persiguen en este trabajo son:

- 1) Estudiar los efectos fisiológicos del estrés hídrico en diferentes variedades de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) bajo condiciones controladas y naturales de humedad.
- 2) Establecer la tolerancia a la sequía y explicar las razones de esta tolerancia.
- 3) Establecer una metodología para el estudio de la tolerancia a la sequía de las plantas de patizal.

2. LITERATURA REVISADA

La sequía es un evento meteorológico y ambiental definido como la ausencia de lluvias por un largo período de tiempo, su suficiente para causar el agotamiento de las reservas de humedad del suelo, ocasionando un déficit hídrico lo suficientemente severo como para afectar el crecimiento de las plantas. Aunque los daños por sequía son causados principalmente por la escasés de humedad, estos efectos son agravados por factores atmosféricos como las altas temperaturas, la escasa humedad relativa y los vientos que aumentan la transpiración y aceleran el desarrollo del déficit hídrico (Turner et al., 1980). En biología el estrés es generalmente descrito como un factor que causa disturbios en el funcionamiento normal de un organismo (Levitt, 1972). En la terminología comúnmente usada "sequía" es un estrés ambiental de suficiente duración para producir en las plantas el déficit hídrico (Turner et al., 1980).

Antes de discutir las modificaciones o adaptaciones en las estructuras y funciones que capacitan a algunas plantas para sobrevivir a la sequía en mejores condiciones que otras al estrés causado por la sequía, es necesario tomar en cuenta los mecanismos en general por los cuales el estres hídrico afecta el crecimiento de las plantas.

2.1. Efectos Generales del Estres Hídrico

El estres hídrico reduce la turgencia de las células cau

sando el cierre de los estomas y disminuye la elongación y agrandamiento de las células; por lo anterior, se reduce el área foliar y la capacidad fotosintética por unidad de área (Turner et al., 1980). Laude (1971) observó que el estrés hídrico se caracteriza por un bajo nivel de translocación y transporte de nutrientes que requieren las partes aéreas en crecimiento, el cual es retardado bajo condiciones de estrés hídrico.

Las altas temperaturas aumentan los efectos del estrés hídrico, pues las altas temperaturas elevan la tasa de transpiración y aceleran la ocurrencia de daños por deshidratación. Otro efecto de las altas temperaturas puede ser el agotamiento de las reservas de carbohidratos por el aumento en las tasas de respiración que superan a las tasas de fotosíntesis, esto ocurre generalmente cuando se presentan temperaturas elevadas (Turner et al., 1980).

2.2. Adaptaciones de las Plantas contra la Sequía

Las plantas del desierto son capaces de sobrevivir en un ambiente tan poco propicio gracias a una complicada interacción de factores fisiológicos y anatómicos (Cloudsley, 1979).

Los factores primarios de resistencia a la sequía son: la capacidad de cambiar las características morfológicas y anatómicas tendientes a disminuir las pérdidas de agua y aumentar la capacidad de la planta para resistir la deshidratación (Steward, 1959).

Según Turner et al. (1980), el término "resistencia a la sequía" ha sido muy usado para referirse a la habilidad de las plantas para sobrevivir a la sequía; sin embargo, es un término insatisfactorio e incluso ambiguo, al cual es mejor reemplazar por "tolerancia a la sequía". Turner et al., propone clasificar las adaptaciones por las cuales las plantas sobreviven en algunas regiones donde la sequía es frecuente, en dos categorías: plantas que evaden la sequía y plantas que toleran sus efectos; las adaptaciones que contribuyen a tolerar sus efectos pueden a su vez subdividirse en dos categorías las cuales son: un retardo en la deshidratación y la tolerancia a la deshidratación.

2.2.1. Plantas que evaden la sequía

La evasión a la sequía es una característica de las gramíneas y dicotiledonas de tamaño pequeño, como las plantas efímeras o anuales de las zonas desérticas y algunas plantas que crecen en regiones con una corta temporada de lluvias y una larga estación seca. La evasión a la sequía consiste en germinar en el momento oportuno para completar su ciclo de vida durante la corta estación de lluvias y pasar el resto del año en forma de semillas (Cloudsley, 1964).

Algunas de las ventajas adaptativas para evadir la sequía son:

2.2.1.1. Los medios de dispersión. Muchas especies que evaden la sequía producen semillas que están dotadas de medios de dis

persión que les ayudan en su distribución, de esta forma aumentan las probabilidades de que lleguen a un lugar apropiado para su germinación y establecimientos. Las plantas del género Cenchrus spp producen semillas contenidas dentro de involucros, los cuales son arrastrados por el viento a una considerable distancia hasta que quedan atrapados en los espacios entre las rocas o alguna concavidad del terreno donde finalmente se depositan. Cuando llega la lluvia y llena estas concavidades, las semillas germinan en un ambiente favorable (Cloudsley, 1964).

2.2.1.2. Los inhibidores de la germinación. Went (1949) afirma que en las condiciones de aridez, la temperatura y la lluvia son factores decisivos para el establecimiento de las plántulas y que el comportamiento de los inhibidores de la germinación responde a los ciclos de lluvias y temperaturas que anteceden a los períodos de humedad. Por otra parte, Amen (1966) observó que en las condiciones de aridez los inhibidores al regular la respuesta de la germinación, aumentan las probabilidades de supervivencia de las plántulas. Según Wirght (1970) el retardo en la germinación es una ventaja en las condiciones ambientales desfavorables que ocurren con regularidad en las regiones semiáridas; el éxito del establecimiento puede depender del retraso producido por los inhibidores de la germinación.

2.2.1.3. El vigor de las plántulas. El vigoroso crecimiento de las plántulas es un deseable e importante atributo que puede ser determinante para su supervivencia, pues la rapidez de

la emergencia de las plántulas depende de una elevada tasa de crecimiento (Turner et al., 1980). El rápido desarrollo de las plántulas ha sido considerado como una característica de tolerancia a la sequía, las plántulas que más pronto alcanzan a emerger y fotosintetizar para desarrollar su sistema radicular y establecerse, tienen menores pérdidas de agua y mayores probabilidades para sobrevivir (Hurd, 1971). Otro autor Isley (1958) enfatizó que los atributos de la plántula que favorecen el establecimiento en condiciones adversas son necesariamente características del vigor de la plántula.

2.2.2. Plantas que toleran la sequía

Para las plantas perennes de las zonas semiáridas no es posible evadir los ocasionales períodos de sequía, cuando la zona en la que se desarrollan se caracteriza por un clima extremo e impredecible, algunas de estas plantas poseen otras adaptaciones que contribuyen a tolerar la sequía. Estas adaptaciones pueden ser: un retardo en la deshidratación, o una tolerancia a la deshidratación (Turner et al., 1980).

2.2.2.1. El retardo en la deshidratación. Esto ocurre por características morfológicas o adaptaciones fisiológicas, las cuales reducen la transpiración e incrementan la absorción en la planta aumentando la habilidad de ésta para tolerar la sequía.

Algunas de estas adaptaciones son:

- Una menor área foliar. Uno de los primeros efectos del

estrés hídrico sobre el crecimiento celular es una reducción en el tamaño de las células, que trae como consecuencia un menor desarrollo del área foliar (Slatyer, 1977). Robins (1953) observó que el efecto de la sequía sobre las plantas del pastizal se caracteriza por una reducción en el tamaño de las mismas y es denotado por un retardo en el crecimiento. La altura de la planta es generalmente afectada, así como la longitud de los entrenudos. Por otra parte, Steward (1959) afirma que la senescencia y caída de las hojas puede reducir el área foliar funcional y disminuir las pérdidas de agua por transpiración.

- El cierre de los estomas. La apertura de los estomas depende de la presión de turgencia en las células oclusivas. Al disminuir la presión de turgencia los estomas comienzan a cerrarse y el grado de transpiración disminuye, por lo tanto, el rápido cierre de los estomas ofrece un margen de protección para las hojas contra las pérdidas de agua (Ray, 1983).
- Características morfológicas del sistema radicular. La gran resistencia a la sequía que tienen algunas plantas está atribuida al extenso y ramificado sistema radicular que poseen. Un sistema radicular extenso ayuda a las plantas a tener una mayor superficie de contacto y mejor aprovechamiento de la humedad (Steward, 1959). Hurd (1968) observó que los cultivares que tenían una gran cantidad de raíces seminales mostraban un mejor comportamiento

al desarrollarse en diferentes condiciones de humedad.

Existen tres tipos básicos de sistema radicular.

- i. Plantas cuyas raíces van directamente hacia abajo, con pequeñas extensiones laterales, extraen agua del suelo a una profundidad mayor que otras plantas.
- ii. Plantas con un sistema radicular bien distribuido y con raíces cerca del suelo, e.g. las acacias.
- iii. Plantas cuyas raíces se ramifican uniformemente y ocupan un gran volumen del suelo, como en praderas de gramíneas, aquellas como: Cenchrus ciliaris L. y Panicum maximum. Cenchrus ciliaris L. puede tener raíces por abajo de cinco metros de profundidad (Dagg et al., 1967).

Muchas plantas poseen ventajas de los tres tipos de sistema radicular, e.g. Eragrostis superba y Themeda triada poseen raíces que alcanzan hasta dos metros de profundidad, pero la mayor parte se encuentra cerca de la superficie del suelo, pudiendo aprovechar al máximo el agua de lluvia (Taerum, 1970).

2.2.2.2. Tolerancia a la deshidratación. Es la habilidad de las plantas para tolerar la deshidratación antes de sufrir daños permanentes, esta habilidad depende del estado de desarrollo de la planta, la duración del estrés y el género de plantas (Begg et al., 1976; Hsiao, 1973). La reacción de las plan

tas ante la deshidratación puede considerarse desde dos puntos de vista: la supervivencia y el rendimiento. La supervivencia ante una severa deshidratación es de mayor importancia para la vegetación nativa que para las plantas cultivadas, porque cuando los cultivos han sido severamente dañados por la sequía son usualmente de poco valor económico. De cualquier manera la tolerancia a la deshidratación puede ser más importante de lo que generalmente se supone, porque algunas plantas como el sorgo y los zacates perennes de las zonas áridas pueden tolerar considerables períodos de estrés hídrico y recuperarse cuando termina la sequía (Turner et al., 1980).

Algunas de las bases para explicar las diferencias entre especies en su capacidad para tolerar la sequía son:

La abundante cantidad de tejido fibroso. La abundancia de tejido fibroso previene la falta de turgencia por desecación. Pastos de estas características pueden perder el agua equivalente al 50% de su peso sin mostrar síntomas de marchitamiento (Pratt, 1977).

La dormancia estival. Laude (1953) al estudiar las gramíneas en regiones con un prolongado y seco verano, define dormancia de verano como la suspensión del crecimiento durante las condiciones de sequía entre la última lluvia de primavera y la primera de otoño. Se ha demostrado que el estrés hídrico acelera la senescencia de las hojas más viejas, reduciendo el área foliar funcional (Fisher, 1965). Por otra parte, Steward (1959) ob-

servó que la senescencia de las hojas es una ventaja adaptativa para reducir la superficie de transpiración y disminuir las pérdidas de agua.

El rebrote (la recuperación después de la sequía). Laude (1953) observó que los zacates perennes en las zonas áridas con prolongadas condiciones de sequía, muestran un sorprendente rebrote después de la primera lluvia. En estudios posteriores (1971) encontró que el crecimiento posterior a la sequía indica alguna estimulación del crecimiento después de haber sufrido un moderado estrés hídrico; las plantas que sufrieron estrés hídrico pueden por un tiempo crecer más rápidamente que las plantas que no sufrieron sequía. Quizás por que los metabolitos acumulados antes de la sequía son poco usados durante la dormancia y están disponibles para estimular el crecimiento cuando se presentan de nuevo condiciones de humedad favorables. Lenkel (1927) citado por Carson y Stoddart (1955) al estudiar el rebrote de especies perennes, explican que el inicio del crecimiento depende de las reservas orgánicas acumuladas en las raíces durante las estaciones previas y que la planta utiliza alrededor del 75% de sus reservas para producir como un 10% del crecimiento herbáceo; el crecimiento subsecuente depende de la síntesis de nutrientes. El zacate Buffel tiene una alta proporción de órganos y estructuras que le permiten acumular reservas que le sirven para este propósito. También esta espe

cie transporta una más alta proporción de asimilatos producidos en las hojas a las raíces y rizomas; comparada con otras especies, siendo así el Buffel más tolerante a las sequías y al sobrepastoreo (Ayerza, 1981).

Queda establecido que las diferentes categorías de adaptación no son características de un determinado grupo de plantas. Porque algunos géneros de plantas pueden poseer más de una categoría de adaptación. Por ejemplo, algunas variedades de sorgo muestran un desarrollo precoz, y el sorgo en general posee un extenso sistema radicular, uno de los mayores problemas al determinar los daños causados por el estrés ha sido determinar cuáles adaptaciones o categorías de adaptación son las más importantes respecto a la supervivencia de las plantas o de particulares géneros de plantas en habitat específicos (Turner et al., 1980).

El concepto de tolerancia a la sequía es muy amplio y general, y puede ser una buena base para evaluar el comportamiento de las plantas. El propósito de este trabajo es el de identificar algunas de las adaptaciones al estrés hídrico específicamente en zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) y que pueda ser usado para conocer la ecología y comportamiento de esta especie en el norte de México.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del Experimento

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, N.L. En general, los objetivos del estudio fueron observar los efectos de los diferentes niveles de humedad sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) a lo largo de toda la fenología de las plantas, con el propósito de definir la tolerancia a la sequía en algunos cultivares de zacate Buffel y tratar de establecer las razones de esta tolerancia.

3.2. Material Genético

Las variedades de zacate Buffel que se utilizaron para el presente estudio fueron proporcionadas por el Banco de Germoplasma de la FAUANL. El material proporcionado fueron las siguientes variedades:

Variedades de porte bajo

Gayndah
Comun (Texas 4464)
Birdwood

Variedades de porte alto

Nueces
Biloela
Llano
Molopo
Boorara
Nunbank

El propósito de incluir las variedades de porte alto y las de porte bajo fue con la finalidad de compararlas en sus características anatómicas y morfológicas de adaptación a la

sequía. El experimento se estructuró en tres fases: La primera fase se llevó a cabo en octubre de 1985, el experimento de la segunda fase se había efectuado en septiembre y octubre de 1984, la tercera fase del estudio se llevó a cabo durante los meses de julio, agosto y septiembre de 1985.

3.3. Fase 1: La Germinación

Fase de germinación. En esta fase se estudiaron los efectos del inhibidor de la germinación presente en semillas de zacate Buffel. Los objetivos del experimento fueron: establecer las diferencias entre sustratos de la germinación; arena y cajas de petri, y explicar las razones de esta diferencia para evaluar las características del inhibidor como una ventaja adaptativa para evadir las condiciones de sequía.

3.3.1. Material genético

Para el presente trabajo se utilizaron semillas de cuatro variedades de Zacate Buffel: Gayndah, Biloela, Nueces y Molopo.

3.3.2. Diseño experimental

Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en condiciones ambientales controladas dentro del invernadero, para comparar las diferencias entre variedades y el efecto del inhibidor al utilizar dos medios diferentes para la germinación de las semillas, los resultados se analizaron mediante un diseño en Bloques al Azar con Arreglo Factorial y cuatro repeticiones.

3.3.3. Método

El experimento se llevó a cabo en condiciones ambientales controladas dentro del invernadero. Las semillas de las cuatro variedades fueron involucros recolectados en la misma fecha, teniendo el mismo tiempo de reposo al momento del estudio. Para llevar a cabo la prueba de germinación, las semillas se colocaron en dos medios diferentes: arena y cajas de Petri con papel filtro, contando ambos con humedad suficiente. El experimento se mantuvo a una temperatura de 32°C y en completa oscuridad.

3.4. Fase 2: Establecimiento

El objetivo en este experimento fue observar las diferencias anatómicas y morfológicas de las plántulas de Buffel que se desarrollaron bajo diferentes condiciones de humedad en su primera fase de establecimiento, que comprendió desde la germinación hasta que las plantas tenían dos meses de edad.

3.4.1. Material genético

Se eligieron siete variedades para el experimento de la segunda fase: Nueces, Molopo, Boorara, Biloela, Gayndah, Nunbank y Birdwood.

3.4.2. Diseño experimental

Las siete variedades se desarrollaron en condiciones controladas, aplicando los niveles de humedad correspondientes a cada tratamiento y bajo condiciones de campo. Para las condiciones controladas de humedad en el invernadero las siete va-

riedades fueron sometidas a dos niveles de humedad: humedad óptima y condiciones de sequía. Estos tratamientos fueron distribuidos a través de un Arreglo en Franjas, donde las parcelas grandes fueron las variedades y las parcelas chicas los dos diferentes niveles de humedad.

Para el análisis de los resultados obtenidos se utilizó un Factorial con Arreglo en Franjas y distribución en un diseño de Bloques al Azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron el promedio de cuatro plántulas sembradas en la misma bolsa de polietileno. En las condiciones de campo la prueba consistió solamente en una comparación de las siete variedades, pues las condiciones de humedad fueron las mismas. Para este experimento de campo se utilizó un Diseño de Bloques al Azar, las unidades experimentales fueron el promedio de cuatro plántulas sembradas en la misma bolsa. Las bolsas fueron depositadas fuera del invernadero.

3.4.3. Métodos

A los cinco días posteriores a la emergencia de las semillas, las plántulas de las siete variedades fueron transplantadas a bolsas negras de polietileno, con cuatro kilogramos de tierra común, sembrando cuatro plántulas en cada bolsa. El primer riego fue el momento de transplantar aplicando 50 mm de lámina de riego (1.0 L) por bolsa para todos los tratamientos. Para las condiciones controladas de humedad, las plantas se ubicaron dentro del invernadero. Para la condición de humedad óptima se aplicó la cantidad de 350 mm de lámina de riego, la

cual se distribuyó en 10 riegos aplicándose sucesivamente cada siete días. Para las condiciones de sequía, el único riego fue el que se dió al momento de transplantar. En el experimento para las condiciones de campo las bolsas se ubicaron fuera del invernadero quedando las plántulas expuestas al medio ambiente. Se aplicó un solo riego al momento de transplantar. A los 20 días de transplantadas se realizó el primer muestreo y posteriormente cada ocho días se realizaron los muestreos, ocho en total. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: altura del tallo principal, número de hojas del tallo principal, número de hijuelos, número de hojas de los hijuelos y la altura promedio de los hijuelos.

3.5. Fase 3: Plantas Adultas

En esta parte del trabajo se realizaron observaciones en plantas de dos meses de edad, en tres diferentes condiciones de humedad controlada y una prueba de campo. El objetivo de este experimento fue el de continuar observando el desarrollo de plantas de Buffel que crecieron en diferentes condiciones de humedad para comparar sus diferencias anatómicas y morfológicas de adaptación a la sequía.

3.5.1. Material genético

Fueron seleccionadas cuatro variedades de Buffel, dos variedades de porte alto (Biloela y Llano) y dos variedades de porte bajo (Gayndah y Comun Texas 4464).

3.5.2. Diseño experimental

En las condiciones controladas de humedad las cuatro variedades fueron sometidas a tres diferentes niveles de humedad: humedad óptima, humedad intermedia y sequía. Distribuyéndose en un Arreglo en Franjas dentro del invernadero, donde las parcelas grandes fueron las variedades y las parcelas chicas los diferentes niveles de humedad. Los resultados se analizaron mediante un Factorial con Arreglo en Franjas, en un Diseño de Bloques al Azar, con tres repeticiones. En la prueba de campo, se realizó solo una comparación de variedades para lo cual se utilizó un diseño de Bloques al Azar. Para las condiciones controladas de humedad y la prueba de campo, las unidades experimentales fueron el promedio de dos plantas sembradas en la misma bolsa.

3.5.3. Métodos

Plantas de las cuatro variedades fueron transplantadas a los dos meses de edad a bolsas negras de polietileno con 35 kilogramos de tierra común, sembrando dos plantas por bolsa. El primer riego fue al momento de transplantar, aplicando 150 mm de lámina de riego en cada bolsa para establecerlas. Para controlar la condición de humedad las plantas se colocaron dentro del invernadero, donde se aplicaron los tres tratamientos de humedad: condición óptima, condición intermedia y condición de sequía. Para simular las condiciones de óptima humedad se aplicó la cantidad de 750 mm de lámina de riego en total, la cual se distribuyó en 15 riegos, aplicándose sucesivamente cada siete días (3.5 lt). En condiciones intermedias

se aplicaron 350 mm de lámina de riego, distribuyéndose en 15 riegos aplicados cada siete días (1.18 lt). Para simular las condiciones de sequía, las plantas de este tratamiento recibieron un solo riego al momento de trasplantar.

En todas las condiciones de humedad se realizó el primer muestreo a los 15 días del transplante, llevándose a cabo posteriormente cada 15 días, seis muestreos en total. Se midieron los siguientes parámetros: altura de la planta, número de tallos primarios, número de hojas, número de hojas verdes, número de hijuelos, peso seco del follaje, peso seco de la raíz, la proporción entre el peso seco del follaje y el peso seco de la raíz y el número de raíces seminales.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación aparecen por separado, de acuerdo a las tres fases descritas anteriormente, Germinación, Establecimiento y Plantas adultas, mostrándose el comportamiento de las distintas variables del desarrollo de la planta al crecer en distintas condiciones de humedad y las diferencias entre variedades. Las gráficas y las tablas con los análisis de varianza, comparaciones de medias y correlaciones aparecen al final de cada fase.

4.1. Fase 1: Germinación

Al octavo día de realizada la siembra se midió el porcentaje de germinación de cada unidad experimental para conocer las diferencias entre variedades y el comportamiento del inhihibidor al colocarse las semillas en dos diferentes medios de germinación.

Hubo diferencias ($P \leq 0.01$) entre los porcentajes de germinación logrados en los dos sustratos (40.75 arena vs 10.56 petri) y entre variedades ($P \leq 0.01$) para el caso de la germinación en arena (Tabla 3). La variedad Gayndah tuvo el porcentaje más alto de germinación (64.5%), Biloela mostró un porcentaje intermedio (46.25%), mientras que las variedades Moloipo y Nueces tuvieron los menores porcentajes de germinación los cuales fueron estadísticamente similares (30.25%, 22.0%).

El porcentaje de germinación fue similar ($P \leq 0,05$) entre las variedades cuando se pusieron a germinar en cajas de Petri.

Lari y Kharabanda (1963) encontraron una sustancia inhibidora de la germinación soluble en agua, la cual consideraron como un mecanismo de adaptación a la sequía, que evita la germinación de la semilla en lluvias ocasionales. Lo anterior se pudo observar en este estudio, al comparar los porcentajes de germinación obtenidos al utilizar arena y cajas de Petri como medios de germinación. En la arena las semillas aumentaron considerablemente su porcentaje de germinación, pues la arena tiene una alta capacidad de infiltración y el inhibidor fue lavado y lixiviado rápidamente, mientras que en las cajas de petri aún cuando la semilla contó con suficiente humedad, el inhibidor siguió en contacto con la semilla, disminuyendo notablemente la germinación.

En las condiciones naturales, las semillas no germinan al presentarse lluvias ocasionales y de poca magnitud, aún cuando éstas se encuentren rodeadas de humedad temporal. Solamente una precipitación considerable o en repetidas ocasiones podría lixiviar el inhibidor hacia horizontes del suelo más profundos, permitiendo que la semilla germine y a la vez que ésta cuente con humedad suficiente para su desarrollo y establecimiento en el terreno.

La interacción ($P \leq 0.01$) encontrada entre sustratos y variedades (Tabla 1) indica que las variedades tuvieron un com-

portamiento diferente, dependiendo del medio en el cual germinaron. Al utilizar arena como sustrato se observó que la variedad Gayndah tuvo el mayor aumento en el porcentaje de germinación, mientras que la Molopo fue la que tuvo el menor aumento en el porcentaje de germinación en comparación al obtenido al utilizar cajas de Petri; tal vez lo anterior indique que la cantidad de inhibidor varía entre genotipos. La variedad Gayndah, un genotipo de porte bajo más adaptado a las condiciones de aridez, pudiera poseer una mayor cantidad de inhibidor, lo cual sería interesante investigar.

TABLA 1. Efecto del sustrato sobre el porcentaje de germinación en variedades de zacate Buffel.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F.C.	F.t.	
					0.05	0.01
Bloques	3	165.594	55.198	0.674	3.07	4.87 NS
Sustratos	1	7290.282	7290.282	88.950	4.32	8.02 **
Variedades	3	2963.843	987.948	12.054	3.07	4.87 **
I (S V)	3	1686.343	562.114	6.858	3.07	4.87 **
E E	21	1721.156	81.959			
S C T	31	13827.218				

TABLA 2. Promedio de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel en dos diferentes sustratos.

Variedades	Cajas de Petri (%)	Arena (%)	\bar{X}
Gayndah	18.00	64.50	41.25
Biloela	5.75	46.25	26.00
Molopo	5.75	22.00	13.87
Nueces	12.75	30.25	21.50
	42.25	163.00	
\bar{X}	10.56	40.75	

TABLA 3. Comparación de medias (DMS)* de los porcentajes de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel en dos sustratos diferentes.

Variedades	Cajas de Petri (%)	Variedades	Arena (%)
Gayndah	18.00 a	Gayndah	64.00 a
Nueces	12.75 a	Biloela	46.25 b
Biloela	5.75 a	Molopo	30.25 c
Molopo	5.75 a	Nueces	22.00 c

(*) Variedades seguidas de la misma letra, indican diferencias no significativas (P 0.05).

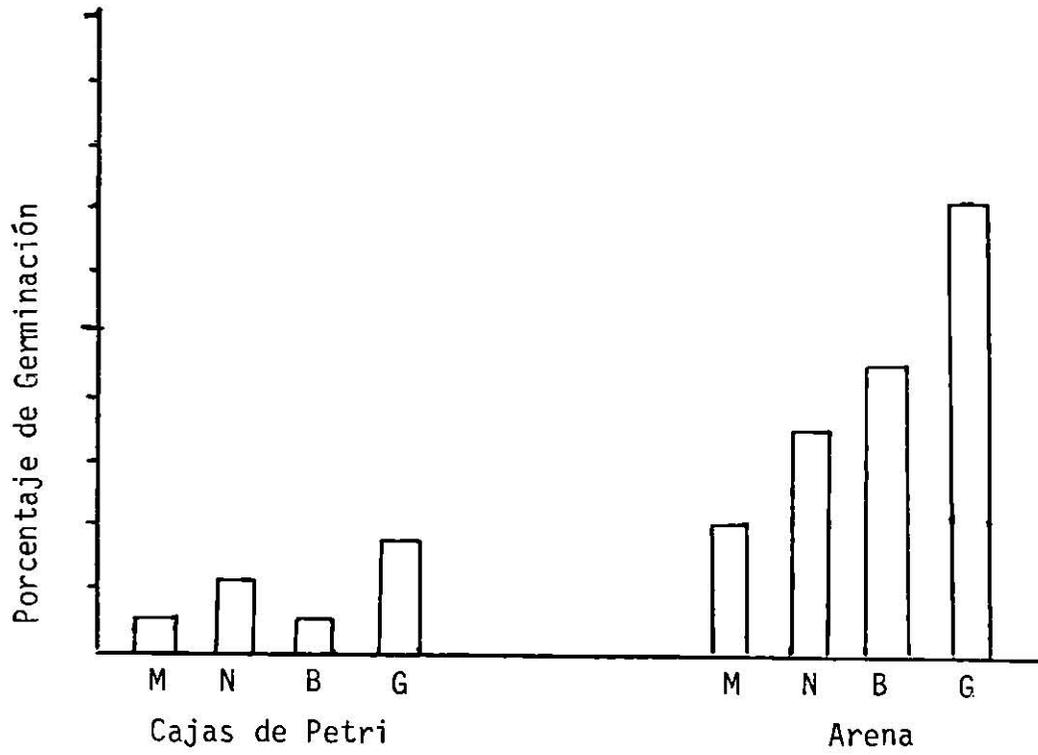


FIGURA 1. Aumento en el porcentaje de germinación de cuatro variedades de zacate Buffel: Molopo, Nueces, Biloela, Gayndah al utilizar arena como sustrato en comparación a las cajas de Petri.

4.2. Fase 2; Establecimiento

Para evaluar el desarrollo y la capacidad fotosintética como característica del vigor de las plántulas, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: altura y número de hojas del primer tallo, número de hijuelos, número de hojas de los hijuelos y altura promedio de los hijuelos.

4.2.1. Altura del primer tallo

4.2.1.1. Desarrollo de la altura en las distintas condiciones de humedad. La altura del primer tallo es una variable muy afectada por la escasez de humedad. Comparando el desarrollo de la altura en las distintas condiciones de humedad, el análisis de varianza mostró que existe diferencia ($P \leq 0.01$) entre los niveles de humedad. Al comparar los promedios (Tabla 5), la mayor altura correspondió a las plantas que crecieron en las condiciones de humedad óptima.

4.2.1.2. Diferencias en la altura del primer tallo de las siete variedades. Al comparar el desarrollo de la altura de las siete variedades en las condiciones de sequía y la prueba de campo, el análisis de varianza no mostró diferencias entre variedades, posiblemente debido al escaso desarrollo de las plántulas, las cuales no alcanzaron a diferenciarse; solamente en las condiciones de humedad óptima, donde las variedades alcanzaron su mayor expresión fenotípica para la variable altura, se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre variedades. Los promedios más altos correspondieron a las variedades Molopo, Boora

ra y Nueces (Tabla 7) y el promedio más bajo fue el de la variedad Gayndah.

4.2.2. Número de hojas del primer tallo

4.2.2.1. Número de hojas del primer tallo en las distintas condiciones de humedad. La escasez de humedad reduce notablemente el número de hojas del primer tallo de las plántulas ($P \leq 0.01$). El mayor número de hojas se encontró en las plántulas que se desarrollaron en condiciones de óptima humedad. Las gráficas de regresión (Figura 3) muestran un continuo aumento en el número de hojas del primer tallo a medida que mejoraron las condiciones de humedad. En la prueba de campo, el número de hojas fue menor posiblemente debido a la caída y pérdida de las hojas secas, mecanismo muy usado por las gramíneas para solventar la crisis hídrica que están pasando.

4.2.2.2. Número de hojas del primer tallo de las siete variedades. En las condiciones de campo y las condiciones de sequía no se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre variedades (Tabla 6). Al compararse las variedades creciendo en condiciones de óptima humedad, el análisis de varianza indicó que existe diferencias entre variedades ($P \leq 0.05$), las plántulas con mayor número de hojas en el primer tallo corresponden a las variedades Molopo y Birdwood (tabla 7), el resto de las variedades tuvieron promedios menores y estadísticamente similares ($P \leq 0.05$).

4.2.3. Número de hijuelos

4.2.3.1. Número de hijuelos en los diferentes niveles de humedad. Se observó diferencia ($P \leq 0.05$) entre el número de hijuelos desarrollados en las diferentes condiciones hídricas. En el nivel óptimo de humedad se desarrolló un mayor número de hijuelos en comparación a las condiciones de sequía donde el número de hijuelos fue más escaso (Tabla 5).

Las gráficas de regresión mostraron un continuo incremento en el número de hijuelos de las plantas a medida que se mejoraron las condiciones de humedad. En las condiciones de sequía, el desarrollo de los hijuelos fue más escaso. Sorprendentemente el número de hijuelos de las plantas que se desarrollaron en las condiciones de campo fue mayor incluso al desarrollado en las condiciones óptimas de humedad (Figura 4), este efecto se explicará más adelante en la sección 4.2.6.

4.2.3.2. Número de hijuelos en las distintas variedades. Aunque la interacción entre niveles de humedad y variedades no fue significativa (Tabla 4) al compararse las variedades en cada nivel de humedad (Tabla 6), se observó que solamente en la condición de humedad óptima hubo diferencia ($P \leq 0.05$) entre variedades; las variedades Gayndah y Birdwood desarrollaron el mayor número de hijuelos (Tabla 7), las variedades Boorara, Nueces, Molopo y Nunbank tuvieron un número de hijuelos menor y estadísticamente similar ($P \leq 0.05$), la variedad Bilqela desarrolló el menor número de hijuelos.

En general, se observó que la variedad Gayndah produjo el mayor número de hijuelos en todas las condiciones de humedad, aunque en las condiciones de sequía y la prueba de campo, los promedios de las siete variedades fueron estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

4.2.4. Número de hojas de los hijuelos

4.2.4.1. Número de hojas en los diferentes niveles de humedad. Se observaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre el número de hojas de los hijuelos en las plantas que se desarrollaron en las distintas condiciones de humedad (Tabla 4). Al compararse los promedios el mayor número de hojas se encontró en las condiciones de humedad óptima, en las condiciones de sequía, el número de hojas fue más escaso (Tabla 5), lo anterior posiblemente se debe al escaso desarrollo de las plántulas que se desarrollaron en las condiciones de sequía, las cuales tuvieron un menor número de hijuelos, que afectó directamente el número de hojas de los mismos ($r = 0.8341$).

4.2.4.2. Número de hojas de los hijuelos en plantas de distintas variedades. Estudiando el efecto del nivel de humedad sobre el número de hojas en los hijuelos, se encontró que no hubo diferencias entre variedades ($P \leq 0.05$) en la condición de sequía, ni en la prueba de campo. En cambio, en las condiciones de humedad óptima hubo diferencias ($P \leq 0.01$) entre genotipos (Tabla 6). La variedad Birdwood desarrolló el mayor número de hojas, pues tuvo el mayor número de hojas por cada hi-

juelo debido a la gran cantidad de entrenudos,

4.2.5. Altura promedio de los hijuelos

4.2.5.1. Efecto de las diferentes condiciones de humedad sobre la altura de los hijuelos. El análisis de varianza (Tabla 4) indicó diferencias ($P \leq 0.01$) entre la altura de los hijuelos alcanzada en los diferentes niveles de humedad. En las plántulas que se desarrollaron en la condición óptima de humedad el promedio de la altura de los hijuelos fue mayor (Tabla 5, Figura 7).

Se observó que mientras las plántulas contaron con humedad disponible su desarrollo fue continuo, mientras que las plántulas expuestas al estrés hídrico su crecimiento fue irregular y afectado por la sequía.

4.2.5.2. Diferencias entre la altura promedio de los hijuelos de plantas de las siete variedades. La interacción genotipo-ambiente (Tabla 4) indica que las variedades tuvieron un comportamiento diferente dependiendo del nivel de humedad en que se encontraban. Al comparar las variedades en cada nivel de humedad (Tabla 6) se encontró que en las condiciones de campo no se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en el comportamiento de las siete variedades, posiblemente porque no alcanzaron a diferenciarse plenamente debido a la carencia de agua. Sin embargo, tanto en las condiciones de humedad óptima como en las de sequía, el análisis de varianza indicó diferencias ($P \leq 0.01$)

en el comportamiento de las variedades. En las condiciones de humedad óptima (Tabla 7) los promedios más altos corresponden a las variedades Biloela, Molopo y Nueces, el menor promedio correspondió a la variedad Birdwood. En las condiciones de se quía el comportamiento en general de las variedades fue diferente: las variedades Gayndah, Birdwood y Nunbank tuvieron los más altos promedios y los promedios más bajos correspondieron a las variedades Biloela, Boorara y Nueces.

4.2.6. Efecto del estrés hídrico sobre el establecimiento de las plántulas de zacate Buffel

Tratando de hacer un resumen de los resultados descritos anteriormente, podemos decir que el estrés hídrico afectó notablemente el desarrollo del primer tallo de las plántulas, reduciendo su altura y número de hojas y por tanto, la incipiente capacidad fotosintética que es de vital importancia en el desarrollo de la plántula. En las condiciones de sequía y campo no se encontró diferencia ($P \leq 0.05$) entre variedades, quizás debido al escaso desarrollo que tuvieron. En cambio en las condiciones de humedad óptima, las variedades Molopo, Boorara y Nueces superaron al resto de las variedades (Tabla 7) mostrando un vigoroso desarrollo del primer tallo expresado en los parámetros de altura y número de hojas.

En cuanto al número de hijuelos, en las condiciones de humedad óptima, donde las plantas alcanzaron su mejor expresión fenotípica las variedades de porte bajo mostraron una

mayor capacidad de amacollamiento. Característica de suma importancia durante la fase de establecimiento, por aumentar la capacidad de competencia de la nueva población de plántulas mejorando sus posibilidades de supervivencia. Las variedades Gayndah y Birdwood desarrollaron el mayor número de hijuelos aunque éstos fueron de menor altura (Tabla 7). Las variedades de porte bajo tuvieron un mayor número de hojas en los hijuelos y éstas fueron de un tamaño más pequeño, además desarrollaron un follaje más compacto, menos expuesto a factores ambientales y quizás con la misma capacidad fotosintética de las variedades de porte alto, las cuales tuvieron un follaje aparentemente más desarrollado.

En las condiciones de campo donde los factores ambientales como la insolación, los vientos y la baja humedad relativa elevaron la tasa de transpiración y aceleraron la ocurrencia de daños por deshidratación, los efectos del estrés hídrico sobre el desarrollo de las plántulas fueron más evidentes; el estrés hídrico tuvo un efecto detrimento sobre todos los parámetros del desarrollo vegetativo de las plántulas; sin embargo, mientras que el estrés hídrico interrumpió el desarrollo de la parte aérea de las plántulas, éstas continuaron activas desarrollando un mayor número de hijuelos (Figura 4), aunque éstos fueron de tamaño más pequeño. De esta manera, las pérdidas de agua por transpiración a través de una reducida área foliar fueron mínimas y la gran cantidad de hijuelos eran los potenciales tallos que asegurarían el rebrote al contar de

nuevo con humedad. Esta estrategia es lo que más adelante se va a mencionar como crecimiento compensatorio, típica de las plantas de zonas áridas.

TABLA 4. Efecto de dos niveles de humedad en el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.)
Análisis de Varianza (Cuadrados medios).

V a r i a b l e s	Nivel de Humedad			Variedades			Interacción		
	Bloques	Nivel de Humedad	Error (a)	Variedad	Error (b)	Ft	I (a b)	Error (c)	Fc
Altura del primer tallo	79.143	9555.276	41.452	263.568	81.962	1.608	158.635	50.620	3.134
Número de hojas del primer tallo	0.426	35.659	0.154	0.901	1.075	0.838	1.498	0.636	2.355
Número de hijuelos	2.193	153.909	2.148	4.120	3.437	6.059	8.437	1.510	2.276
Número de hojas de los hijuelos	221.321	67207.00	215.679	20264.924	915.058	22.146	19918.336	967.721	20.583
Número de hojas por hijuelo	69.660	1433.837	51.226	426.082	35.159	13.143	463.148	37.393	12.386
Altura promedio de los hijuelos	138.540	9022.939	54.143	561.024	68.656	8.172	1088.065	39.632	27.460
		Ft	0.05	Ft	0.05	0.01	Ft	0.05	0.01
			18.51		3.0	4.82		3.0	4.82

TABLA 5. Efecto de dos niveles de humedad en el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.). Comparación de medias (DMS).

Nivel de Humedad	Parámetros del Desarrollo						
	Altura del primer tallo	Número de hojas del 1er tallo	Hijuelos	Número de hojas de los hijuelos	Número de hojas por hijuelo	Altura Prom. de los hijuelos	
Optimo	96.98 a	8.19 a	5.76 a	86.0 a	14.50 a	51.45 a	
Sequía	61.81 b	6.35 b	1.93 b	1.70 b	2.81 b	22.13 b	
	**	**	*	**	*	**	**

Nivel de Sign.
0.05 y 0.01

TABLA 6. Efecto de tres niveles hídricos sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.). ANOVAS (Cuadros Medios).

VARIABLES	BLOQUES	VARIEDAD	ERROR	Fc
<u>Condiciones de Humedad Optima:</u>				
Altura del tallo principal	34.012	381.901	17.442	21.895**
Número de hojas del tallo principal.	0.440	2.012	0.649	3.101*
Número de hijuelos	4.298	7.246	1.687	4.296*
Número de hojas de los hijuelos	435.571	40170.949	1877.766	21.393**
Número de hojas por hijuelo	120.177	923.619	72.196	12.793**
Altura promedio de hijuelos	24.903	1412.056	61.311	23.031**
<u>Condiciones de Sequía:</u>				
Altura del tallo principal	86.584	40.301	115.139	0.350 ns
Número de hojas del tallo principal	0.145	0.388	1.061	0.365 ns
Número de hijuelos	0.043	0.311	0.503	0.619 ns
Número de hojas de los hijuelos	1.429	12.320	5.007	2.460 ns
Número de hojas por hijuelo	0.709	1.611	0.355	4.535 ns
Altura promedio de los hijuelos	167.779	237.033	46.967	5.047**
<u>Condiciones naturales de humedad (campo):</u>				
Altura del tallo principal	362.842	249.756	88.779	2.813 ns
Número de hojas del tallo principal	0.306	0.770	0.288	2.677 ns
Número de hijuelos	244.464	1367.226	551.821	2.478 ns
Número de hojas de los hijuelos	-	-	-	-
Número de hojas por hijuelo	-	-	-	-
Altura promedio de los hijuelos	-	-	-	-

Ft $\alpha = 0.05$ $\alpha = 0.01$
 3.0 4.82

TABLA 7. Efecto de tres niveles hídricos sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) Comparación de Medias (DMS).

Variedad	Altura del Tallo Principal	No. de Hojas del Tallo Princ.	Hijuelos Totales	Hojas Totales de hijuelos	No. de Hojas por hijuelo	Altura Promedio de los hijuelos
<u>Condición de Humedad Optima:</u>						
Gayndah	7.50 c	7.50 b	8.67 a	58.67 b	5.50 b	47.73 c
Boorara	106.67 a	8.33 b	5.17 b	76.33 b	18.10 b	55.07 bc
Nueces	104.67 a	7.83 b	5.50 b	35.17 b	6.47 b	59.70 b
Biloeia	95.67 b	7.83 b	3.83 c	22.17 b	5.83 b	72.33 a
Birdwood	95.00 b	8.50ab	6.83 ab	345.0 a	52.97 a	5.57 d
MoTopo	107.67 a	9.83a	5.33 b	33.17 b	6.23 b	64.67 ab
Nunbank	94.17 b	7.50 b	5.0 b	31.50 b	6.40 b	55.07 bc
<u>Condición de Sequia:</u>						
Gayndah	63.17	6.67	2.0	9.67	4.17	37.03 a
Boorara	68.27	5.83	1.60	3.83	2.20	16.03 bc
Nueces	63.27	6.17	1.50	3.83	2.10	10.93 c
Biloeia	68.60	6.17	1.83	5.50	2.37	16.97 bc
Birdwood	71.60	6.33	2.17	7.10	2.97	27.17 ab
MoTopo	69.93	6.33	2.43	6.43	2.60	19.27 bc
Nunbank	62.33	6.93	2.0	5.60	3.30	27.53 ab
<u>Prueba de Campo:</u>						
Gayndah	60.17	3.10	50.971			
Boorara	73.53	4.10	26.53			
Nueces	75.93	3.73	25.20			
Biloeia	76.43	2.93	23.30			
Birdwood	52.10	2.60	31.53			
MoTopo	71.20	3.53	34.50			
Nunbank	71.77	3.37	23.77			

TABLA 8. Efecto de tres niveles de humedad sobre el establecimiento de siete genotipos de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.). Rangos y Medias.

Nivel de Humedad	Altura del Primer Tallo	No. de Hojas del 1er. Tallo	No. de Hijuelos	No. de Hojas de los Hijuelos	No. de Hojas por hijuelo	Altura Promedio de los Hijuelos
	<u>R a n g o s</u>					
Optimo	75.0 -107.67	7.50- 9.83	3.83 - 8.67	22.17-345.0	5.50 -52.97	5.57 - 72.33
Sequía	62.33- 71.60	5.83- 6.93	1.50 - 2.43	3.83- 9.67	2.10 - 4.27	10.93 - 37.03
Campo	52.10- 73.43	2.60- 4.10	48.37 -50.97	--	--	--
	<u>M e d i a s</u>					
Optimo	96.98	8.19	5.76	86.0	14.50	51.45
Sequía	66.81	6.35	1.93	6.0	2.81	22.13
Campo	68.73	3.34	30.83	--	--	--

TABLA 9. Correlaciones Fase 2: Establecimiento de plántulas de zacate Bufrel creciendo en condiciones controladas de humedad.

	Altura del primer tallo	No. de hojas del 1er. tallo	No. de hijuelos	No. de hojas de los hijuelos	No. de hojas por hijuelo	Altura promedio de los hijuelos
Altura del primer tallo						
No. de hojas del 1er. tallo	-0.2430 NS					
No. de hijuelos	0.0671 NS	-0.6564 *				
No. de hojas de los hijuelos	-0.1837 NS	-0.2879 NS	0.8341 **			
No. de hojas por hijuelo	-0.1837 NS	-0.2879 NS	0.8341 **	0.9989 **		
Altura promedio de los hijuelos	-0.3826 NS	0.2081 NS	0.3536 NS	0.8109 *	0.8109 *	

TABLA 10. Correlaciones Fase 2: Establecimiento de plántula de zacate Buffel creciendo en dos condiciones naturales de humedad.

	Altura del primer tallo	No. de Hojas del 1er. tallo	No. de hijuelos	No. de hoja de los hijuelos	No. de hojas por hijuelo	Altura promedio de los hijuelos
Altura del primer tallo						
No. de hojas del primer tallo	0.9673 **					
No. de hijuelos	0.6923 **	0.5660 *				
No. de hojas de los hijuelos	0.6522 *	0.4949 NS	0.9874 **			
No. de hojas por hijuelo	0.6321 NS	0.5213 NS	0.9724 **	0.9643 **		
Altura promedio de los hijuelos	0.6920 **	0.5413 NS	0.9858 **	0.9847 **	0.9252 **	

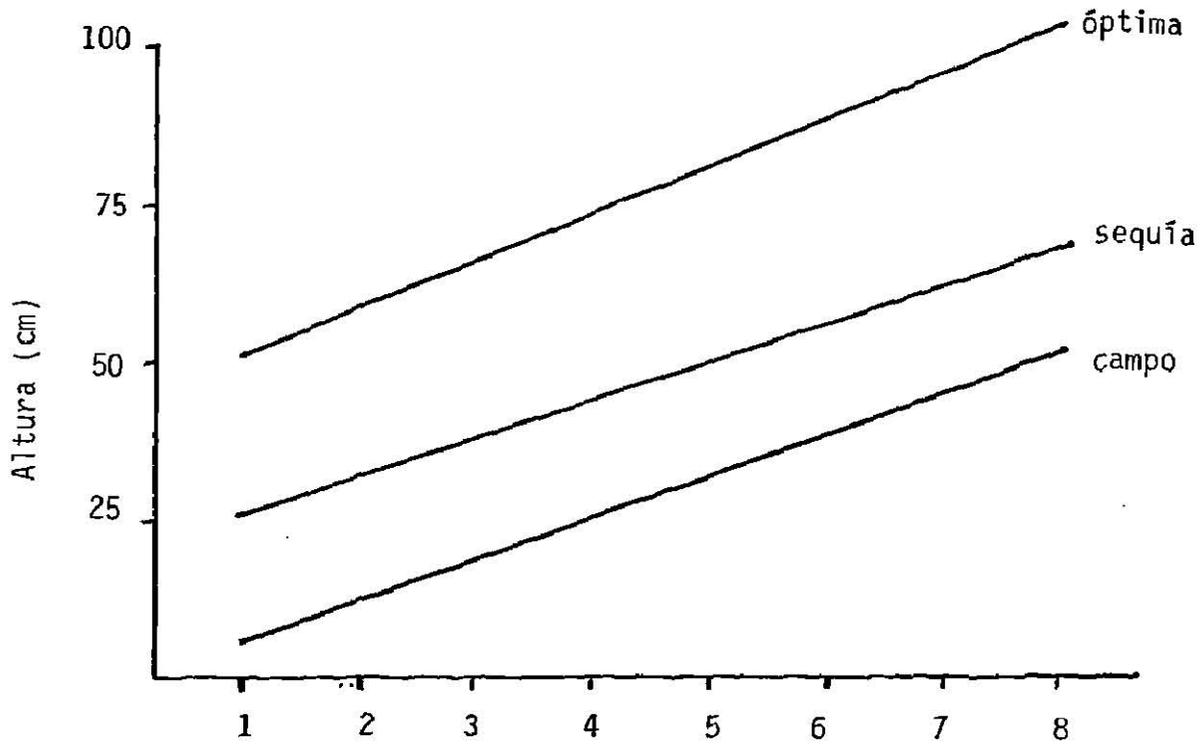


FIGURA 2. Tendencia de la altura de las plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

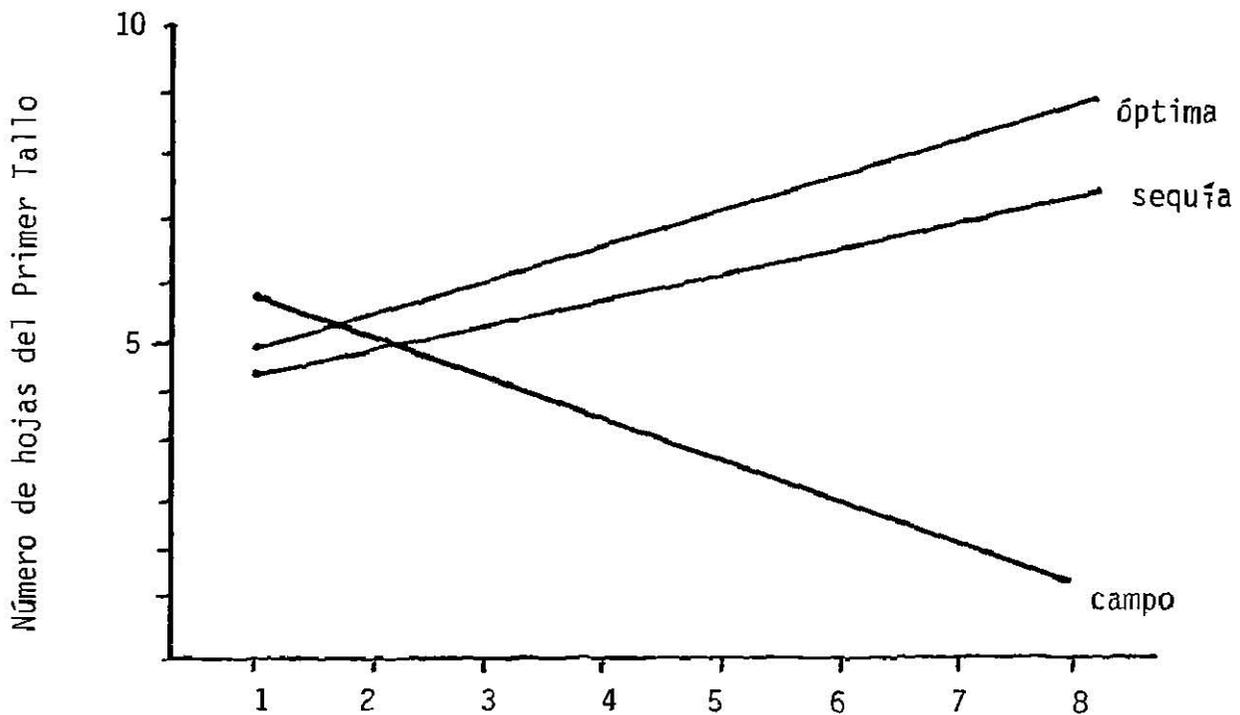


FIGURA 3. Número de hojas del primer tallo de plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

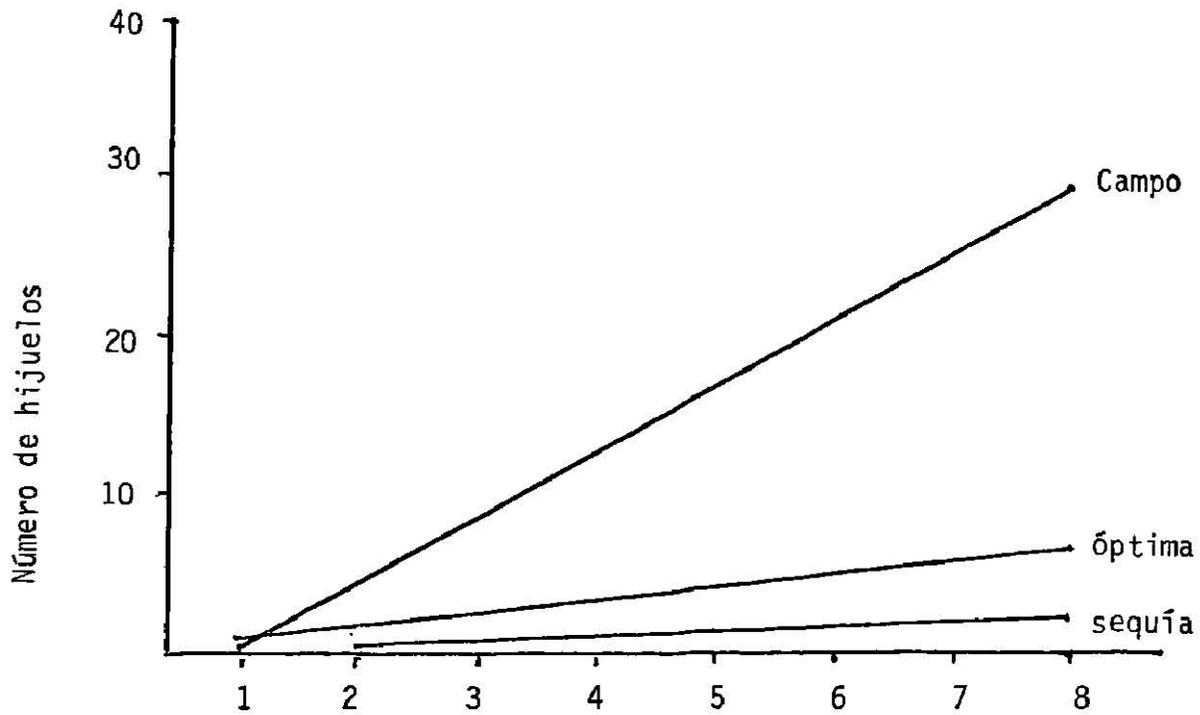


FIGURA 4. Tendencia de la producción de hijuelos en plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

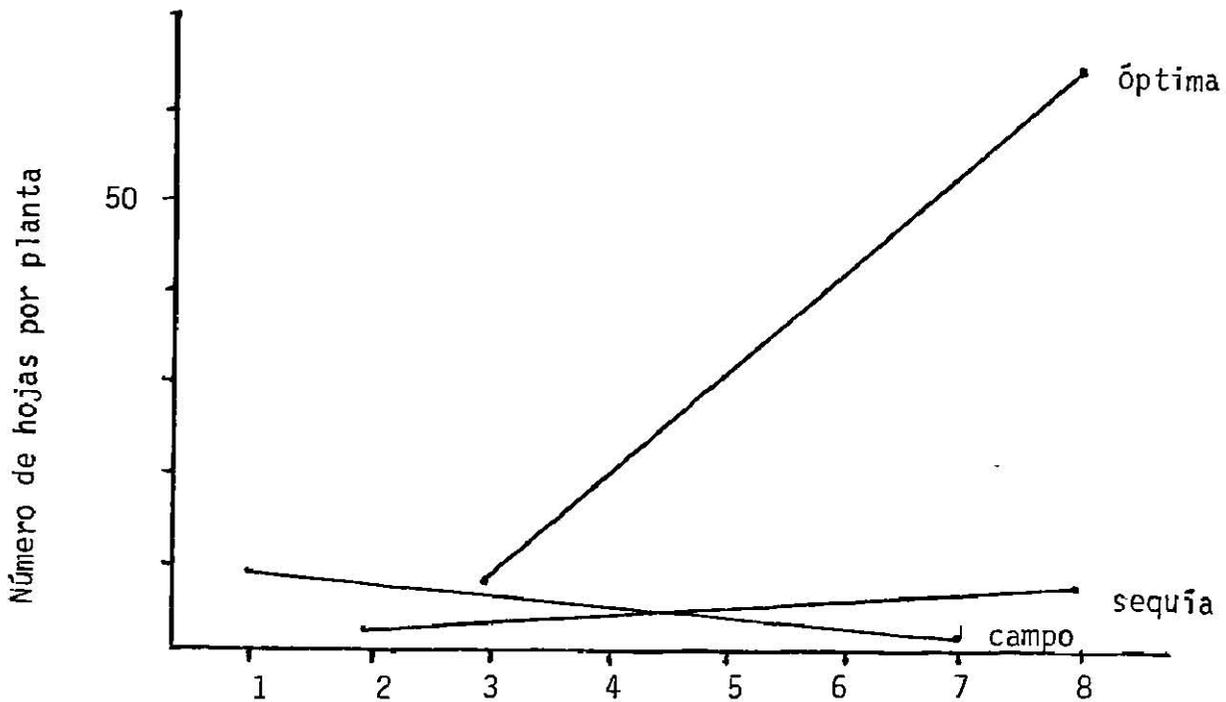


FIGURA 5. Número de hojas de las plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes niveles de humedad.

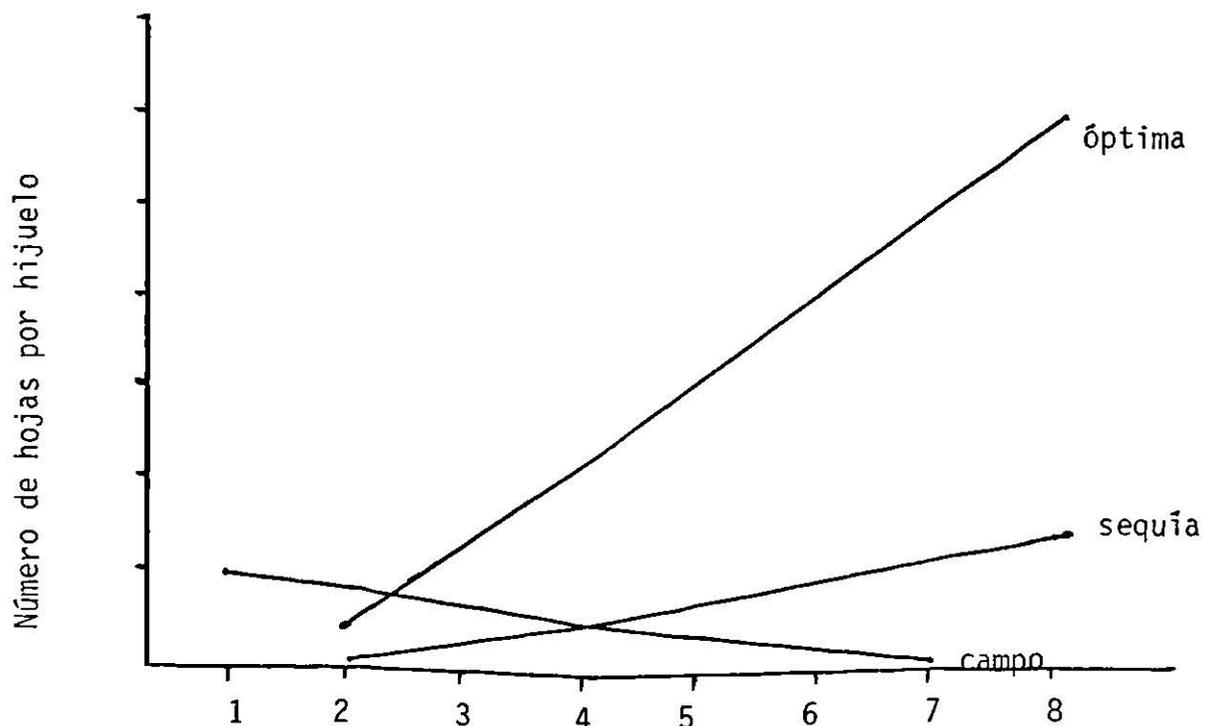


FIGURA 6. Producción de hojas por cada hijuelos de las plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes niveles de humedad.

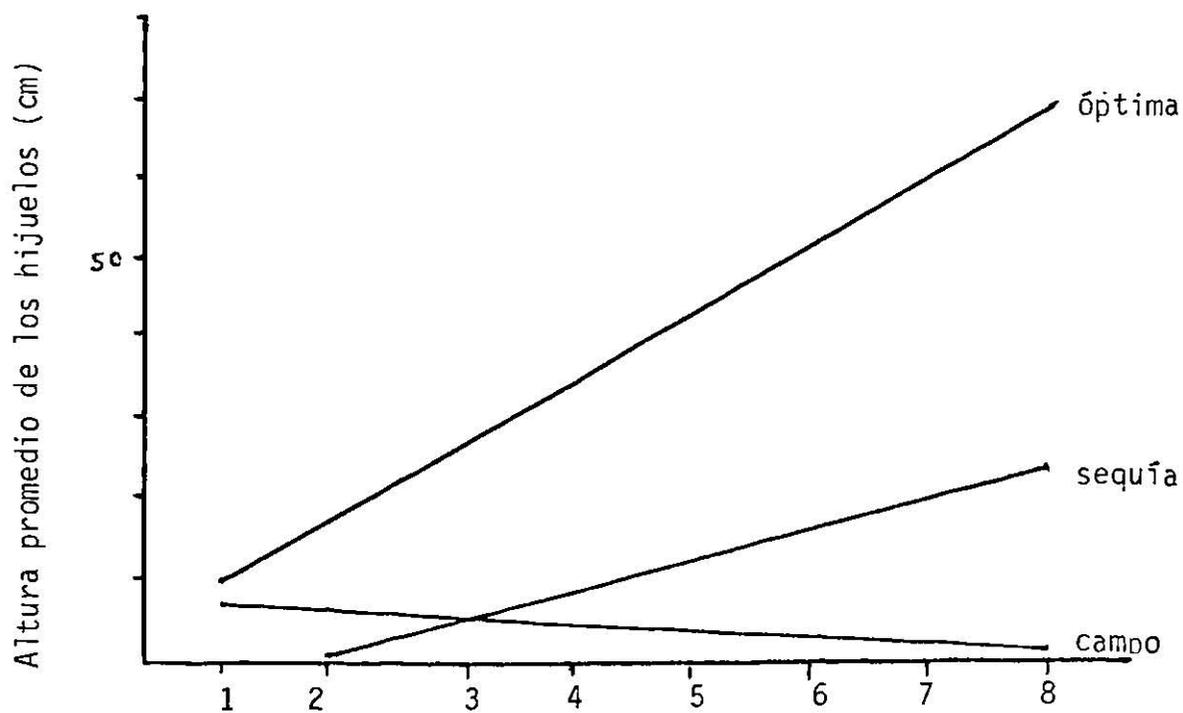


FIGURA 7. Tendencia de la altura promedio de los hijuelos de plántulas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

4.3. Fase 3: Plantas Adultas

4.3.1. Altura de la planta

Al medir la altura de la planta comparamos el desarrollo de las plantas en distintas condiciones de humedad y el efecto que produce el estrés hídrico sobre la altura.

4.3.1.1. Efecto de las distintas condiciones de humedad sobre la altura de la planta. Se observaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre la altura alcanzada por la plantas adultas al desarrollarse en distintas condiciones de humedad. La escasez de humedad tuvo gran influencia en el desarrollo de la altura de las plantas. Al compararse las medias de la altura para las distintos niveles hídricos (Tabla 12), éstas fueron diferentes ($P \leq 0.01$). La mayor altura corresponde a la condición óptima de humedad y la menor se encontró en el tratamiento de sequía. Las gráficas de regresión mostraron una tendencia positiva del crecimiento para los niveles ascendentes de humedad. La pendiente de la línea de la condición intermedia de humedad fue menor en comparación al nivel óptimo; por último, en las condiciones de sequía, la pendiente tiende a disminuir, posiblemente esto es debido al encorvamiento de los tallos, pues las plantas habían fenecido totalmente.

4.3.1.2. La altura de las plantas de las distintas variedades. Aunque no se encontró interacción ($P \leq 0.05$) entre la altura alcanzada por las plantas de las cuatro variedades en los diferentes niveles de humedad, las variedades tuvieron un comportamiento diferente en cada nivel de humedad. Al compararse las variedades separadamente en cada nivel de humedad, no se observaron diferencias significativas (Tabla 13) en los niveles óptimo e intermedio de humedad, lo cual indica que las variedades desarrollaron una altura similar mientras hubo humedad disponible. Sin embargo, bajo las condiciones de sequía si se presentaron diferencias ($P \leq 0.01$). La variedad Llano fue la más alta, las variedades Gayndah y Biloela tuvieron una menor altura y fueron estadísticamente similares, la variedad Común fue la más baja (Tabla 15). En la prueba de campo también se pudieron observar diferencias ($P \leq 0.01$) en la altura alcanzada a la edad adulta. Las variedades Biloela, Llano y Común fueron las más altas (39.50; 39.17 y 35.53 cm, respectivamente), la altura de la variedad Gayndah fue la menor (27.50 cm). Para las condiciones controladas de humedad el rango de la altura de las cuatro variedades (63.61 - 75.28) fue mayor que el rango de la altura de las mismas variedades en las condiciones de campo, esto podría explicarse porque la humedad relativa dentro del invernadero favoreció una mayor elongación de los entrenudos de las plantas que crecieron dentro del invernadero.

4.3.1.3. Efecto general del estrés hídrico sobre la altura de las plantas. El estrés hídrico provocó una notable disminución

en la altura de las plantas, la máxima altura fue alcanzada en la condición óptima de humedad, donde las variedades alcanzaron su mejor expresión fenotípica para la variable altura. Las líneas de regresión (Figura 8) muestran las diferentes alturas alcanzadas en cada nivel de humedad; se puede apreciar que al disminuir la humedad, disminuyó la pendiente de la gráfica hasta mostrar una tendencia negativa como en la condición de sequía. Esto posiblemente se deba a que el estrés hídrico afecta la translocación de nutrientes retardando el crecimiento de las partes aéreas de la planta (Laude, 1971) y la longitud de los entrenudos (Robins, 1953).

4.3.2. Número de tallos primarios

En la corona basal de cada planta se contó el número de tallos primarios o hijuelos para evaluar la capacidad de amacollamiento y el potencial forrajero de cada cultivar. En este estudio se encontró una alta correlación ($r= 0.7870$) entre el número de tallos primarios y la materia seca aérea.

4.3.2.1. Efecto de las condiciones de humedad sobre el número de tallos primarios. Se observaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre el número de tallos producidos en las distintas condiciones de humedad (Tabla 11); al compararse los promedios (Tabla 12), el mayor número de tallos primarios se encontró en la condición óptima de humedad, le siguen en número la condición intermedia y el menor número de tallos primarios se desarrolló en las condiciones de sequía. Lo anterior indica que la escases de hume-

dad afecta severamente el desarrollo del número de tallos primarios, esto se puede observar en las líneas de regresión (Figura 9), donde se muestra una tendencia a aumentar a medida que aumentan los niveles de humedad.

4.3.2.2. Número de tallos primarios de las distintas variedades. Aunque el análisis de varianza no indicó interacción entre los niveles de humedad y las variedades (Tabla 11). Al compararse las variedades separadamente en cada nivel de humedad (Tabla 13), se encontró que las variedades no se diferenciaron ($P \leq 0.05$) al crecer en las condiciones intermedias de humedad y en las condiciones de sequía; sin embargo, en la condición de humedad óptima, sí se encontraron diferencias entre las variedades. Llano, Común y Gayndah desarrollaron el mayor número de tallos primarios (13.00; 14.17 y 16.50 respectivamente) y el menor número correspondió a la variedad Biloela (9.5) (Tabla 15). En las condiciones de campo hubo diferencia ($P \leq 0.01$) entre variedades (Tabla 14). Las comparaciones de medias (Tabla 15), indicaron que las variedades Común y Gayndah fueron las que desarrollaron un mayor número de tallos primarios (21 y 28 respectivamente) y los menores promedios correspondieron a las variedades Biloela y Llano (8.83 y 13.50 respectivamente). El rango de los promedios para las cuatro variedades en condiciones de invernadero fue (6.78-11.44). Las mismas variedades tuvieron promedios mucho mayores en las condiciones de campo (8.83-28.00), lo que podría atribuirse a las condiciones alternadas de sequía y humedad debido a la precipitación

pluvial que ocurrió durante este experimento, después de la cual todas las plantas tuvieron un sorprendente rebrote que aumentó considerablemente el número de tallos primarios. Lo anterior coincide con lo señalado por Laude (1971), quien indica que los metabolitos poco usados durante la sequía están disponibles para estimular el crecimiento cuando las condiciones son propicias.

4.3.2.3. Efecto general del estrés hídrico sobre el número de tallos primarios. En las condiciones controladas de humedad el número de tallos primarios fue severamente afectado por la escasez de humedad. En las gráficas de regresión (Figura 9) se observa que la tendencia a lo largo de las fechas fue siempre la de aumentar. La correlación entre el número de tallos primarios y materia seca aérea ($r=0.7870$) parece indicar que el efecto adverso del estrés hídrico sobre el desarrollo de los hijuelos retardó la formación de nuevos tallos, reduciendo el peso del follaje, lo cual podría ser una ventaja; un follaje de menor tamaño evita las excesivas pérdidas de humedad por transpiración.

En la prueba de campo el rango de los promedios de las variedades fue muy superior a los promedios alcanzados por las mismas variedades en las condiciones controladas de humedad, esto como ya se mencionó, pudo deberse a que mientras en las condiciones controladas el nivel de humedad fue constante a lo largo de las seis fechas, la prueba de campo fue expuesta a condiciones naturales de humedad, donde hubo períodos alter

nados de sequía y humedad. Durante el período de sequía las plantas retardaron el crecimiento de sus partes aéreas, pero continuaron formando nuevos hijuelos, mismos que después de las lluvias se desarrollaron aumentando el número de tallos primarios, los cuales aumentaron el número de hojas total y el número de hojas verdes.

4.3.3. Número total de hojas

Se tomó en cuenta el número total de hojas por cada planta, con el propósito de conocer las diferencias entre variedades y observar cómo afectan los diferentes niveles de humedad el desarrollo del follaje de las plantas de zacate Buffel.

4.3.3.1. Efecto de los diferentes niveles de humedad sobre el número de hojas. Se observaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre el número de hojas que desarrollaron las plantas en las distintas condiciones de humedad (Tabla 11), la comparación de promedios (Tabla 12) indicó que en la condición óptima de humedad se encontró el mayor número de hojas (107.79), en las condiciones intermedias y las condiciones de sequía el número de hojas fue menor y estadísticamente similar ($P \leq 0.05$) (117.21; 71.25, respectivamente). Las líneas de regresión (Figura 10) muestran que el número de hojas disminuyó al someterse las plantas a niveles más bajos de humedad, aunque debido al desarrollo de la planta, la tendencia de todas las líneas fue la de aumentar.

4.3.3.2. Diferencias en el número de hojas de las distintas variedades. Se encontró interacción ($P \leq 0,01$) entre los niveles de humedad y el número de hojas de las cuatro variedades (Tabla 11). Al comparar las variedades en cada nivel de humedad separadamente (Tabla 13) se observó que en las condiciones de humedad intermedia y las condiciones de sequía las variedades no se diferenciaron, todas tuvieron un desarrollo similar ($P \leq 0,01$). Solo bajo condiciones de humedad óptima se encontró diferencia ($P \leq 0,01$), la comparación de medias en la condición óptima (Tabla 15), indica que las variedades Común y Gayndah desarrollaron el mayor número de hojas (391.50; 425.33 respectivamente), las variedades Llano y Biloela tuvieron promedios menores (266.50 y 290.50 respectivamente). En la prueba de campo también se observaron diferencias ($P \leq 0,01$) al compararse las distintas variedades. La variedad Gayndah desarrolló el mayor número de hojas (350.33), los promedios del resto de las variedades fueron menores y estadísticamente similares.

4.3.3.3. Efecto general del estrés hídrico sobre el número de hojas. En forma general, se puede decir que en las condiciones controladas de humedad el número de hojas disminuyó al reducirse el nivel de humedad en los tratamientos. Este efecto ha sido reportado por Fisher et al. (1965), Acevedo et al. (1971) y Hsiao et al. (1974) quienes indicaron que una de las más importantes consecuencias del estrés hídrico sobre el crecimiento celular, es la reducción en el área foliar, esta reducción está asociada a la reducción de las pérdidas por transpiración;

esto es un mecanismo para reducir la proporción de agua usada y retardar las pérdidas por transpiración al comienzo de un estrés hídrico severo. Además de la reducción en la proporción del agua usada es evidente un incremento en el acopio de agua del suelo a través de un aumento en la extensión del sistema radicular, como lo señala Pearson (1966). La correlación negativa (0.6256) entre el número de hojas y el número de raíces seminales (Tabla 17) indica que aún cuando en algunas plantas la producción de hojas disminuyó, éstas continuaron activas en su sistema radicular, posiblemente se deba a que al escasear la humedad, aunque el crecimiento del follaje fue retardado por el estrés hídrico, las plantas continuaron desarrollando nuevas raíces seminales.

En las condiciones de campo el rango de los promedios de las variedades (165.17-350.33) fue superior el rango de los promedios de las mismas variedades en las condiciones intermedias de humedad. Esto podría explicarse en base a que en el experimento de campo hubo condiciones alternadas de sequía y humedad. Durante el período de sequía el estrés hídrico retardó el crecimiento del follaje pero las plantas continuaron activas, formando un mayor número de hijuelos, los mismos que después de las lluvias se desarrollaron formando nuevos tallos, estos tallos aumentaron considerablemente la proporción de hojas totales, pues el número está correlacionado con el número de tallos ($r=0.9871$) y los tallos con el número de hijuelos ($r=0.8144$) (Tabla 18).

4.3.4. Número de hojas verdes

Con el propósito de evaluar los efectos del estrés hídrico sobre el desarrollo y funcionalidad del follaje y también para evaluar la capacidad de seguir fotosintetizando aún en condiciones extremas de falta de agua. Se contaron todas las hojas verdes de las plantas de las cuatro variedades que estuvieron sometidas a diferentes condiciones de humedad,

4.3.4.1. Efecto de las distintas condiciones de humedad sobre el número de hojas verdes. El análisis de varianza mostró diferencia ($P \leq 0.01$) entre el número de hojas verdes de las plantas que crecieron en las diferentes condiciones de humedad. La comparación de medias indicó que en la condición óptima de humedad las plantas tenían el mayor número de hojas verdes, aunque fue estadísticamente similar a la condición intermedia de humedad (Tabla 12). Las plantas en la condición de sequía no tenían prácticamente hojas verdes, pues ya todas las plantas habían fenecido. Las líneas de regresión (Figura 11) muestran que la tendencia para las diferentes condiciones de humedad fue proporcional a la humedad disponible. Para la condición óptima las gráficas muestran un constante aumento, mientras que en la condición de sequía el número de hojas verdes decrece rápidamente.

4.3.4.2. Diferencias en el número de hojas verdes de las distintas variedades. Tanto en la condición controlada de humedad como en la prueba de campo no se encontró diferencia

($P \leq 0.05$) entre variedades, todos los cultivares tuvieron un desarrollo similar en el mismo nivel de humedad.

4.3.4.3. Efecto general del estrés hídrico sobre el número de hojas verdes. En las condiciones controladas de humedad el número de hojas verdes se incrementó en forma continua, mientras hubo humedad disponible. Aunque la producción de nuevas hojas disminuyó en las etapas más avanzadas de su fenología, se encontró una correlación negativa ($r=0.7602$) entre el número de hojas verdes y el número de raíces seminales (Tabla 17), lo cual parece indicar que aunque disminuyó el número de hojas verdes, la producción de nuevas hojas fue continua. Al observar las líneas de regresión (Figura 11) se puede apreciar que en las condiciones extremas de escases de humedad aún cuando el número de hojas verdes disminuyó rápidamente conforme avanzaba el desarrollo de la planta, el sistema radicular continuó desarrollándose (Figuras 14 y 15), Fisher et al. (1966) Ludlow (1975) realizaron observaciones similares, mencionan que el estrés hídrico reduce el área foliar por la aceleración de la senescencia fisiológica de las hojas viejas, Boyer (1970), Acevedo et al. (1971) y Hsiao (1974) opinan que un importante consecuencia de la reducción del área foliar es la reducción de las pérdidas de agua por transpiración. Además de la reducción en la proporción del agua usada, se observa un incremento en el acopio de agua del suelo a través de un aumento en la extensión del sistema radicular, como lo señala Pearson et al. (1966), Nadi et al. (1969), Hoffman (1971).

4.3.5. Número de hijuelos

Se tomó en cuenta el número de hijuelos totales para conocer las diferencias entre variedades y la potencial capacidad de amacollamiento del zacate Buffel sometido a los diferentes niveles de humedad.

4.3.5.1. Efecto de los diferentes niveles de humedad sobre el número de hijuelos. No hubo diferencia significativa entre el número de hijuelos de las plantas que crecieron en las distintas condiciones de humedad. Las líneas de regresión sin embargo (Figura 12) muestran una tendencia constante a aumentar el número de hijuelos a lo largo de las seis fechas y la cantidad de hijuelos disminuyó poco al reducirse el nivel de humedad; sin embargo, esta diferencia no fue significativa. Por otra parte, en las condiciones de campo se puede observar que hubo una cantidad de hijuelos ampliamente superior a las demás condiciones de humedad controlada.

4.3.5.2. Diferencias entre variedades en los distintos niveles de humedad. Cuando se compararon los cultivares dentro de los mismos niveles de humedad su comportamiento fue similar ($P \leq 0.05$). Por el contrario, en las condiciones de campo se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre variedades. La comparación de promedios demostró que las variedades de porte bajo (Gayndah y Común) desarrollaron el mayor número de hijuelos y las variedades de porte alto (Biloela y Llano) tuvieron un número de hijuelos menor. El rango de los promedios de las varieda-

des en la prueba de campo (27,17-43,83) fue ampliamente superior al rango alcanzado por las mismas variedades en las condiciones controladas de humedad (16,1-23,39), posiblemente se deba al rebrote que se presentó después de las lluvias, el cual aumentó considerablemente la cantidad de hijuelos, o al comportamiento un tanto diferente del ambiente natural (temperatura, humedad atmosférica, radiación, etc.) en comparación a las condiciones del invernadero.

4.3.5.3. Efecto del estrés hídrico sobre el número de hijuelos. El número de hijuelos aparentemente fue poco afectado por la escases de humedad, pues estadísticamente no hubo diferencia significativa para el número de éstos en los diferentes niveles de humedad. Aún cuando el desarrollo del follaje disminuye o cesa completamente durante la dormancia de verano, las plantas continúan activas, desarrollando nuevos hijuelos aunque éstos sean de un tamaño pequeño;

En las condiciones de campo, todas las variedades desarrollaron un mayor número de hijuelos en comparación a las condiciones de humedad controlada, esto aparentemente fue debido a las condiciones alternadas de sequía y humedad o a las diferencias ambientales discutidas al final del punto anterior (4.3.5.2.). Al principio del nuevo período de humedad, el rebrote de las plantas comenzó con el crecimiento de los hijuelos, los cuales se desarrollaron formando nuevos tallos ($r=0,8144$), y aumentando con esto considerablemente el número de hojas verdes ($r=0,8276$) y con ello, la capacidad fotosintética de la

planta, la cual comenzó a aumentar el tamaño de su sistema radicular y a formar nuevas reservas. Al escasear de nuevo la humedad las plantas disminuyeron y hasta cesaron el desarrollo de su follaje entrando en un estado de latencia durante el cual, con un sistema radicular más extenso para aprovechar la escasa humedad al principio del suelo y evitando la excesiva transpiración por su reducido follaje, continuaron desarrollando un mayor número de hijuelos que serían los potenciales tallos al llegar un nuevo período de humedad.

4.3.6. Peso seco del follaje

Para evaluar el rendimiento en materia seca de las distintas variedades y conocer cómo afecta la condición de humedad el desarrollo del follaje, se tomó en cuenta el peso seco de la parte aérea de las plantas.

4.3.6.1. Efecto de los diferentes niveles de humedad sobre el peso seco del follaje. Se observó diferencia ($P \leq 0,01$) en la producción de materia seca en los diferentes niveles de humedad (Tabla 11). La comparación de medias (Tabla 12) indicó que el más alto rendimiento se obtuvo en la condición óptima de humedad, y el más bajo en las condiciones de sequía. Todos los rendimientos fueron diferentes ($P \leq 0,05$). En las gráficas de regresión (Figura 13) se puede apreciar como afecta la escasez de humedad el desarrollo del follaje; en la condición óptima se observa un constante aumento en el peso seco del follaje a lo largo de todas las fechas, mientras que en la

condición de sequía estas gráficas muestran valores casi constantes. El desarrollo del follaje fue muy afectado por la escasez de humedad.

Es generalmente aceptado que una reducción en el tamaño de las células es uno de los primeros efectos del estrés hídrico (Turner et al., 1980). El estrés hídrico se caracteriza por un bajo nivel de translocación y transporte de nutrientes que requieren las partes aéreas en crecimiento, el cual es retardado bajo este efecto (Laude, 1971). Por lo tanto, una reducción en el tamaño y en la biomasa de las plantas es generalmente notable, así como un retardo en el crecimiento, la altura de las plantas es particularmente afectada, así como la longitud de los entrenudos, sobre todo en la parte más alta de la planta (Robins, 1953).

4.3.6.2. Diferencias en el peso seco del follaje en plantas de distintas variedades. Al comparar las variedades en la condición óptima de humedad (Tabla 13), no se encontró diferencia ($P \leq 0.05$) entre las mismas. Todas las variedades tuvieron un comportamiento similar. En cambio, al compararse las variedades en las condiciones intermedias y en las condiciones de sequía, se encontró diferencia ($P \leq 0.05$) entre las mismas. En las condiciones intermedias de humedad, los más altos promedios corresponden a las variedades Llano y Gaundah (14.00 y 14.53 g respectivamente), las variedades Biloela y Común tuvieron los promedios más bajos (10.67 y 11.57 g). En las condiciones de sequía, las variedades Común, Gayndah y Llano tu-

vieron los más altos rendimientos (5,67; 6,37 y 6,90 g respectivamente) y fueron estadísticamente similares, el promedio más bajo correspondió a la variedad Billoela (4,33 g).

En las condiciones de campo no se encontró diferencia significativa al compararse el rendimiento en materia seca de las distintas variedades.

4.3.6.3. Efecto general del estrés hídrico sobre el peso seco del follaje. El peso seco del follaje fue una variable muy afectada por la escasez de agua; en las condiciones óptimas de humedad fue donde se obtuvo el máximo rendimiento de materia seca aérea. Sin embargo, el comportamiento de las variedades fue similar, pues no se encontró diferencia ($P \leq 0,05$) entre las mismas. Al comenzar a escasear la humedad se redujo el crecimiento de la parte aérea o cesó por completo. Robins (1953) y Laude (1971) atribuyen el retardo en el crecimiento de las partes aéreas de la planta a los efectos del estrés hídrico sobre la translocación y transporte de nutrientes. En la gráfica (Figura 13) el peso del follaje en la condición de sequía muestra valores casi constantes a lo largo de las seis fechas, lo cual indica que el crecimiento del follaje cesó casi por completo al faltar totalmente la humedad, lo cual podría ser una ventaja. Acevedo et al. (1971), Hsiao (1974) observaron que una importante consecuencia de la reducción del crecimiento del follaje es la reducción de las pérdidas de agua por transpiración y que es un mecanismo para reducir la proporción de agua usada y retardar las pérdidas por trans

piración al comienzo de un severo estrés hídrico.

La versatilidad de los hábitos de crecimiento del zacate Buffel al crecer en diferentes condiciones de humedad, donde incluso un mismo genotipo puede tener diferentes expresiones fenotípicas para el desarrollo del follaje, le dá una gran ventaja frente a las condiciones extremas de falta de humedad, donde aún en las variedades de porte alto se reduce el crecimiento del follaje, evitando grandes pérdidas por transpiración.

4.3.7. Peso seco de la raíz

Con el propósito de conocer la magnitud del desarrollo del sistema radicular se tomó en cuenta el peso seco de la raíz, el objetivo fue observar el desarrollo de la raíz en diferentes condiciones de humedad controlada y en condiciones naturales y conocer la capacidad de las diferentes variedades para desarrollar su sistema radicular.

4.3.7.1. Efecto de los diferentes niveles de humedad sobre el desarrollo de la raíz. El análisis de varianza mostró diferencia ($P \leq 0.05$) entre el peso de las raíces de plantas que se desarrollaron en diferentes condiciones de humedad (Tabla 11), la comparación de medias indicó que en todos los niveles de humedad el desarrollo de la raíz fue diferente (Tabla 12). Los valores más altos fueron alcanzados en la condición de humedad óptima y el promedio más bajo en la condición de sequía,

Las gráficas (Figura 14) muestran las diferencias entre el peso de la raíz alcanzado en los diferentes niveles de humedad. Se observó un constante aumento en el peso seco de la raíz en todos los niveles de humedad, aunque la pendiente de la gráfica disminuyó al reducirse el nivel de humedad. La prueba de campo mostró valores más altos inclusive que los valores alcanzados en la condición óptima de humedad.

4.3.7.2. Diferencias en el peso del sistema radicular de plantas de las diferentes variedades. Se presentó interacción entre los niveles de humedad y el desarrollo radicular de las distintas variedades, i.e. las variedades tuvieron un comportamiento diferente en cada nivel de humedad. Los análisis de varianza (Tabla 13) indicaron que tanto en las condiciones de humedad óptima y humedad intermedia no hubo diferencia ($P \leq 0.05$) entre variedades. Sin embargo, al compararse las variedades creciendo en condiciones de sequía, se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre las mismas; comparando los promedios (Tabla 15), el promedio más alto corresponde a la variedad Llano (2.36 g) las variedades Común, Biloela y Gayndah tuvieron promedios menores (1.26; 1.37 y 1.67 g respectivamente) y fueron estadísticamente similares ($P \leq 0.05$). En las condiciones de campo no se encontró diferencia ($P \leq 0.05$) entre variedades el peso seco del sistema radicular de las plantas de distintas variedades fue similar.

4.3.7.3. Efecto general del estrés hídrico sobre el peso del sistema radicular. El estrés hídrico afectó todo el desarrollo de las plantas, incluyendo el desarrollo de la raíz. En las condiciones óptimas de humedad, las plantas tuvieron un sistema radicular bien desarrollado, mostrando un continuo aumento en el peso de la raíz (Figura 14). En condiciones extremas de escasa humedad, las plantas cuyo follaje había fenecido casi totalmente continuaban activas desarrollando su sistema radicular, lo cual se observó como un aumento en el peso de la raíz (Figura 14) y fue estadísticamente similar al desarrollo radicular de las plantas que crecieron en condiciones intermedias. En condiciones naturales de humedad, se observó en las plantas un notable desarrollo del sistema radicular similar al desarrollo alcanzado en las condiciones óptimas de humedad, lo anterior quizás se deba a la gran cantidad de nuevas raíces seminales desarrolladas durante el rebrote (Figura 15), las cuales aumentaron el peso del sistema radicular.

4.3.8. Número de raíces seminales

Las raíces seminales o primarias nacen en la base del tallo por debajo de la superficie del suelo y crecen rápidamente formando un sistema de ramificaciones secundarias y terciarias, algunos antecedentes indican que el tamaño y el desarrollo de la raíz depende del clima, de la frecuencia y duración de la sequía y que existe una amplia variabilidad genética de las características de la raíz de las gramíneas.

4.3.8.1. Efecto de las diferentes condiciones de humedad sobre el número de raíces seminales. Se observó diferencia ($P \leq 0.01$) entre el número de raíces seminales desarrollado en las diferentes condiciones de humedad (Tabla 11). En la condición óptima se desarrolló el mayor número de raíces seminales, en comparación al número de raíces observado en las condiciones de humedad intermedia y condiciones de sequía, donde fueron más escasas (Tabla 12). Se observó también (Figura 15) que en las condiciones de humedad óptima las plantas tuvieron un continuo incremento en el número de raíces. En las condiciones intermedia y sequía la producción de nuevas raíces seminales fue más escaso.

4.3.8.2. Diferencias en el número de raíces seminales de plantas de las diferentes variedades. El análisis de varianza (Tabla 11) mostró interacción entre los niveles de humedad y el número de raíces de las diferentes variedades. Al compararse las variedades en cada nivel de humedad (Tabla 13), se encontró que en las condiciones de humedad óptima y condiciones de sequía las variedades no se diferenciaron, todas tuvieron un comportamiento similar ($P \leq 0.01$). En las condiciones de humedad intermedia se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre variedades. Las variedades Común, Llano y Gayndah (45.33; 54.17 y 58.67 respectivamente) desarrollaron el mayor número de raíces, la variedad Biloela desarrolló el menor número de raíces seminales (32.0) (Tabla 15).

En las condiciones de campo se encontró diferencias

($P \leq 0.01$) entre variedades, la variedad Gayndah desarrolló el mayor número de raíces (143.0) en comparación a las variedades Biloela, Común y Llano (33.87; 87.00 y 97.00 respectivamente) (Tabla 15).

El rango de los promedios de las cuatro variedades fue superior (87.0-143.0) al rango de los promedios de las mismas variedades en las condiciones óptimas de humedad (68.50-126.83).

4.3.8.3. Efecto del estrés hídrico sobre el número de raíces seminales. Las plantas de zacate Buffel tuvieron una constante producción de nuevas raíces seminales al crecer en condiciones de humedad óptima y el número de raíces seminales fue muy superior al compararse al número de raíces desarrollado en las condiciones intermedia y sequía (Figura 15).

En las plantas que crecieron en las condiciones de sequía la producción de nuevas raíces seminales fue muy escasa; sin embargo, el sistema radicular continuaba desarrollándose lo cual se observó como un aumento en el peso de la biomasa radicular (Figura 14) quizás el aumento se debe no tanto a la producción de nuevas raíces seminales, sino al aumento en la longitud de las raíces ya presentes y a la mayor formación de pequeñas raíces secundarias y terciarias para aprovechar mejor la escasa humedad. Una observación similar fue hecha por Kramer (1974), quien señala que la profundidad, ramificación y extensión total del sistema radicular es una excelente protección contra los daños causados por la sequía porque entre más extenso sea el sistema radicular, la planta puede explorar horizontes más profundos del suelo.

4.3.9. La proporción materia seca aérea/materia seca radicular

Se obtuvo el presente valor como un cociente entre el peso seco del follaje y el peso seco de la raíz, nos indica la proporción que existe entre el peso del follaje y el peso de la raíz; entre más alto sea nos indica un mayor desarrollo del follaje respecto a la raíz.

La proporción MSA/MSR puede ayudar a determinar como los factores ambientales afectan y modifican el crecimiento del follaje y la raíz, debe tomarse en cuenta que la proporción MSA/MSR difiere entre especies y en algunas especies puede variar con la edad fenológica de las plantas y las distintas condiciones ambientales.

4.3.9.1. Efecto de las diferentes condiciones de humedad sobre la proporción MSA/MSR. La proporción MSA/MSR fue notablemente afectada por la condición de humedad ($P \leq 0.01$), i.e., todos los tratamientos fueron diferentes; los valores más altos corresponden a los obtenidos en la condición de humedad óptima y los más bajos a las condiciones de sequía (Tabla 12). Lo anterior parece señalar que las plantas de zacate Buffel si cuentan con humedad suficiente desarrollan un abundante follaje y tienen un menor desarrollo radicular, mientras que las plantas que crecen en condiciones de sequía desarrollan en mayor proporción su sistema radicular en comparación al desarrollo del follaje. Le Clere y Breazeale (1911), citados por Carson encontraron un efecto similar en plantas de trigo (Triti-

cum vulgare) que crecieron en condiciones favorables de humedad, ellos mostraron que el follaje de las plantas se desarrolló en mayor proporción que el sistema radicular y esto se reflejó en un alto valor MSA/MSR.

4.3.9.2. Diferencias en la proporción MSA/MSR en plantas de distintas variedades. Se encontró interacción ($P \leq 0.05$) entre los diferentes niveles de humedad y la proporción MSA/MSR de las diferentes variedades (Tabla 11). Comparaciones posteriores (Tabla 13) indicaron que en las condiciones de humedad óptima y humedad intermedia las variedades no se diferenciaron, i.e., todas tuvieron un comportamiento similar ($P \leq 0.05$). En condiciones de sequía se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre variedades, la comparación de promedios (Tabla 15) mostró que la variedad Común tuvo el valor más bajo (1.26) aunque fue estadísticamente similar a las variedades Gayndah, Biloela (1.27 y 1.37 respectivamente), el valor más alto correspondió a la variedad Llano (2.36).

En condiciones de campo se encontró diferencia ($P \leq 0.05$) entre variedades. Los promedios más bajos corresponden a las variedades Gayndah, Común y Biloela (0.94, 1.3 y 1.3 respectivamente), la variedad Llano mostró el promedio más alto.

Lo anterior muestra que las variedades de porte bajo, Gayndah y Común desarrollan en mayor proporción su sistema radicular en comparación a su follaje. Esta característica puede ser una ventaja para aprovechar mejor la humedad del suelo con un

sistema radicular más extenso y al mismo tiempo evitar la excesiva transpiración mediante un follaje más compacto, lo cual explicaría su resistencia a la sequía reportada en la Literatura y observada aquí en este estudio.

4.3.9.3. Efecto del estrés hídrico sobre la proporción MSA/MSR
La comparación de las medias de las plantas que crecieron en diferentes condiciones de humedad, demostró que al disminuir la humedad, se reduce la tasa MSA/MSR (Figura 17), también se observó que los efectos fisiológicos del estrés hídrico afectan mayormente el crecimiento de las partes aéreas que el crecimiento de la raíz; esto puede representar una ventaja para evitar una excesiva transpiración, reduciendo las pérdidas de humedad a través de un escaso follaje y aprovechando mejor la humedad disponible mediante un proporcionalmente mayor sistema radicular. En general, las gráficas de los diferentes niveles de humedad mostraron una tendencia a disminuir, demostrando que aún cuando el desarrollo del follaje disminuya o cesa, el desarrollo de la raíz fue continuo.

TABLA 11. Efecto de tres niveles de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Análisis de Varianza (Cuadrados Medios).

Variables	Bloques	Nivel de humedad			Variedades		
		Nivel de humedad	Error (a)	Fc	Variedades	Error (b)	Fc
Altura de la planta	5.146	2208.062	17.646	125.131**	226.639	25.424	4.457 NS
Tallos primarios	4.562	153.396	1.146	133.853**	41.861	0.507	82.566 **
No. de hojas	1680.34	227518.203	1248.068	182.296**	9691.712	1229.775	7.881 *
No. de hojas verdes	1240.194	35182.629	375.486	93.699 **	1605.507	413.889	3.879 NS
No. de hijuelos	16.778	146.257	23.517	6.219 NS	97.637	29.352	3.326 NS
Materia seca aérea	5.159	2572.287	0.933	2757.006 **	14.132	1.970	7.174 *
Mat. seca radicular	0.608	222.794	1.455	153.123 **	7.615	3.152	2.416 NS
Proporción MSA/MSR	0.303	5.448	0.069	78.957 **	0.520	0.052	9.811 *
No. de raíces seminales	75.583	9504.083	90.573	104.933 **	1690.951	207.750	8.139 *

	Interacción		
	Interacción (A-B)	Error (c)	Fc
Altura de la planta	68.201	36.465	1.870 NS
Tallos primarios	3.146	3.771	0.834 NS
No. de hojas	4774.338	676.042	7.062 **
No. de hojas verdes	1382.769	447.778	3.088 *
No. de hijuelos	34.525	17.780	1.920 NS
Materia seca aérea	2.092	3.514	0.595 NS
Mat. seca radicular	5.025	4.429	5.149 **
Proporción MSA/MSR	0.675	0.176	3.835 *
No. de raíces seminales	468.944	235.337	1.993 NS

$$F_t = 0.01 = 0.01 \quad F_t = 0.05 = 0.01 \quad F_t = 0.05 = 0.01$$

$$6.94 \quad 18.00 \quad 4.761 \quad 9.78 \quad 3.00 \quad 4.69$$

TABLA 12. Efecto de tres niveles de humedad sobre el desarrollo de zacate Buffel. Prueba de comparación de medias (DMS).

Condición de humedad	Altura de la planta	Tallos Primarios	Número de Hojas	Número de Hojas Verdes	Número de Hijuelos	-Materia Seca Aerea
Optima	81.67 a	13.29 a	343.46 a	107.79 a	23.92	33.90 a
Intermedio	68.54 b	7.96 b	117.21 b	69.92 a	18.46	12.69 b
Sequía	54.54 c	6.50 c	71.25 c	0 b	5.82	5.82 c

	Materia Seca Radicular	No. de raíces Seminales	Proporción MSA/MSR
Optima	11.80 a	92.46 a	3.01 a
Intermedio	5.72 b	47.54 b	2.26 b
Sequía	3.47 b	40.62 b	1.67 b

TABLA 13. Efecto del nivel de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Análisis de Varianza (Cuadrados Medios).

F.V.	Niveles de Humedad							
	Bloques	Optimo Variedades	Error	Fc	Bloques	Intermedio Variedades	Error	Fc
Altura de la plántula	14.583	15.278	25.694	0.595NS	25.521	172.743	66.493	2.598NS
Tallos primarios	4.083	25.521	2.417	10.560**	1.021	14.132	3.215	4.395NS
No. total de hojas	1338.896	17738.688	634.145	27.973**	2814.333	959.243	1708.972	0.561NS
Hojas verdes	1315.396	4113.243	915.118	4.495NS	675.771	257.806	394.326	0.654NS
No. de hijuelos	17.021	81.917	39.271	2.086NS	2.896	28.965	11.174	2.592NS
MSA	2.263	4.147	6.504	0.638	1.396	10.470	1.998	5.240*
MSR	2.889	12.702	10.141	1.253NS	0.416	2.755	1.502	1.834NS
Proporción MSA/MSR	0.254	0.942	0.250	3.772NS	0.004	0.189	0.113	1.673NS
Raíces seminales	117.271	2078.243	498.660	4.168NS	105.146	414.076	75.201	5.506**

	Nivel de Secuía			
	Bloques	Variedades	Error	Fc
Altura de plántula	0.333	175.021	6.167	28.382**
Tallos primarios	1.750	8.50	2.417	3.517NS
No. total de hojas	23.250	542.472	238.722	2.272NS
Hojas verdes	43.896	55.806	14.868	3.753NS
No. de hijuelos	3.366	3.699	0.495	7.477*
MSA	0.212	2.208	0.367	6.021**
MSR	0.184	0.739	0.043	17.027**
Proporción MSA/MSR	34.312	136.521	104.563	1.206NS
Raíces seminales				

TABLA 14. Comparación de las cuatro variedades en la prueba de campo. Análisis de Campo (Cuadrados medios).

	Bloques	Variedad	Error	Fc
Altura de la planta	9.250	93.410	15.889	5.879 **
Tallos primarios	6.271	213.167	19.604	10.874 **
Hojas en total	438.521	19316.520	1868.771	10.336 **
Hojas verdes	140.687	2684.687	1725.438	1.556 NS
Hijuelos totales	11.521	197.576	22.160	8.916 *
Materia seca aérea	1.701	20.299	18.999	1.068 NS
Materia seca raíz	0.879	11.926	10.327	1.155 NS
Relación MSA/R	0.087	0.365	0.045	8.123 *
Raíces seminales	303.396	2136.083	165.229	12.928 **

TABLA 15. Efecto de cuatro niveles de humedad sobre el desarrollo de cuatro genotipos de zacate Buffel. Comparación de medias (DMS).

Variedad	Altura	No. de		No. de Hojas verdes	No. de		Materia Seca Aerea	Materia Seca Radicular		Proporción MSA/MSR	No. de Raíces Seminales
		Tallos Primarios	Hojas		Hojueños	Materia Seca Aerea		Materia Seca Radicular			
Condición Óptima de Humedad											
Gayndah	82.50	16.50 a	425.33a	167.67	27.50	33.83	14.03	2.55	98.83		
Común	78.33	14.17 a	391.50a	136.83	24.50	34.78	9.13	3.83	75.67		
Llano	83.33	13.00 a	266.50 b	73.50	27.67	34.73	12.53	2.84	126.83		
Biloeia	82.33	9.50 b	290.50 b	78.17	16.50	32.27	11.50	2.83	68.50		
Condición Intermedia de Humedad											
Gayndah	60.0	9.67	178.17	59.83	21.0	14.53 a	7.10	2.07	58.67 a		
Común	66.67	10.0	189.0	70.67	21.17	11.57 bc	5.40	2.14	45.33 ab		
Llano	78.33	6.0	170.83	70.0	15.0	14.0 ab	5.50	2.63	54.17 a		
Biloeia	69.17	6.17	146.83	51.17	16.67	10.67 c	4.88	2.19	32.0 b		
Condición de Sequía											
Gayndah	55.83 b	8.17	80.67	21.67	6.37 a	3.77 ab	1.27 b	47.50			
Común	45.83 c	7.67	75.50	20.33	5.67 ab	4.53 a	1.26 b	41.83			
Llano	64.17 a	5.50	77.50	12.50	6.90 a	2.92 b	2.36 a	41.83			
Biloeia	52.33 b	4.67	51.33	15.17	4.33 b	2.64 b	1.37 b	31.33			
Condiciones de Campo											
Gayndah	27.50 b	28.0 a	350.33 a	88.0	44.83 a	10.27	10.70	0.94 b	143.0 a		
Común	35.33 ab	21.0 ab	237.67 b	61.67	38.83 ab	11.90	9.25	1.30 b	87.33 b		
Llano	39.17 a	13.50 bc	200.67 b	47.67	27.17 c	14.30	8.03	1.79 a	97.0 b		
Biloeia	39.50 a	8.83 c	165.17 b	16.17	30.0 c	16.17	12.67	1.30 b	87.0 b		

TABLA 16. Efecto del nivel hídrico sobre el comportamiento de cuatro genotipos de zacate Buffel. Rangos de parámetros.

Nivel hídrico	Altura	No. de tallos primarios	No. de hojas	No. de hojas verdes	No. de hijuelos
Optimo	78.3 - 83.3	9.5 - 16.5	266.5 - 425.5	73.5 - 142.7	16.5 - 27.7
Intermedio	60.0 - 78.3	6.0 - 10.0	143.8 - 189.0	51.2 - 70.7	13.0 - 21.17
Sequía	45.8 - 64.2	4.7 - 8.2	51.3 - 80.8	0	12.5 - 21.7
Campo	27.5 - 39.5	8.8 - 28.0	165.2 - 350.3	16.2 - 88.0	27.2 - 44.8

	Materia Seca Aerea	Materia Seca Radicular	Raíces Seminales	Proporción MSA/MSR
Optimo	32.3 - 34.8	9.1 - 14.0	68.5 - 129.8	2.5 - 3.8
Intermedio	10.7 - 14.5	4.8 - 7.1	32.0 - 58.7	2.0 - 2.6
Sequía	4.3 - 6.9	2.6 - 4.5	31.3 - 47.5	1.3 - 2.4
Campo	10.3 - 16.2	8.0 - 12.7	87.0 - 143.0	0.9 - 1.8

TABLA 17. Correlaciones Fase 3: plantas de zacate Buffel creciendo en condiciones controladas de humedad.

	Altura	Tallos Primarios	No. de Hojas	No. de Hojas Verdes	No. de Hijuelos	Materia Seca Aérea	Materia Seca	No. de Raíces Seminales	Proporción MSA/MSR
Tallos primarios	0.3040 NS								
No. de hojas	-0.3421 NS	0.3948 NS							
No. de hojas verde	-0.1379 NS	0.2650 NS	0.19362**						
No. de hijuelos	-0.6325 *	-0.4100 NS	-0.1581 NS	-0.3902 NS					
Materia seca	0.2978 NS	0.7870 *	0.3034 NS	0.1403 NS	0.0155 NS				
Materia seca radicular	-0.0606 NS	0.0763 NS	0.2214 NS	0.2255 NS	-0.2231 NS	-0.2977NS			
No. de raíces seminales	0.1652 NS	0.0671 NS	-0.6256 NS	-0.7602 *	0.3001 NS	0.0527NS	0.3468NS		
Proporción MSA/MSR	0.2851 NS	0.4676 NS	0.0967 NS	0.0224 NS	0.0536 NS	0.8106 *	-0.7905 **	-0.2476 NS	

TABLA 18. Correlaciones Fase 3: Plantas de zacate Buffel creciendo en condiciones naturales de humedad.

	Altura	Tallos Primarios	No. de Hojas	No. de Hojas Verdes	No. de Hijuelos	Materia Seca Aerea	Materia Seca Radicular	No. de Raíces Seminales	Proporción MSA/MSR
Altura									
Tallos primarios	-0.4689 NS								
No. de hojas	-0.4009 NS	0.9871**							
No. de hojas verde	-0.5149 NS	0.9824**	0.9807**						
No de hijuelos	-0.2302 NS	0.8144**	0.8933**	0.8276**					
Materia seca aérea	0.4409 NS	0.4386 NS	0.5238NS	0.4041NS	0.6297 NS				
Materia seca Radicular	0.0011 NS	-0.0099 NS	-0.0691NS	-0.1486NS	-0.1525 NS	0.1991 NS			
Raíces seminales	0.0669 NS	0.1424 NS	0.0162 NS	0.0569 NS	-0.3912 NS	-0.0040 NS	0.3879 NS		
Proporción MSA/MSR	0.4607 NS	0.4367 NS	0.5354 NS	0.4325 NS	0.6577 NS	0.9773 **	-0.0116 NS	-0.0734 NS	

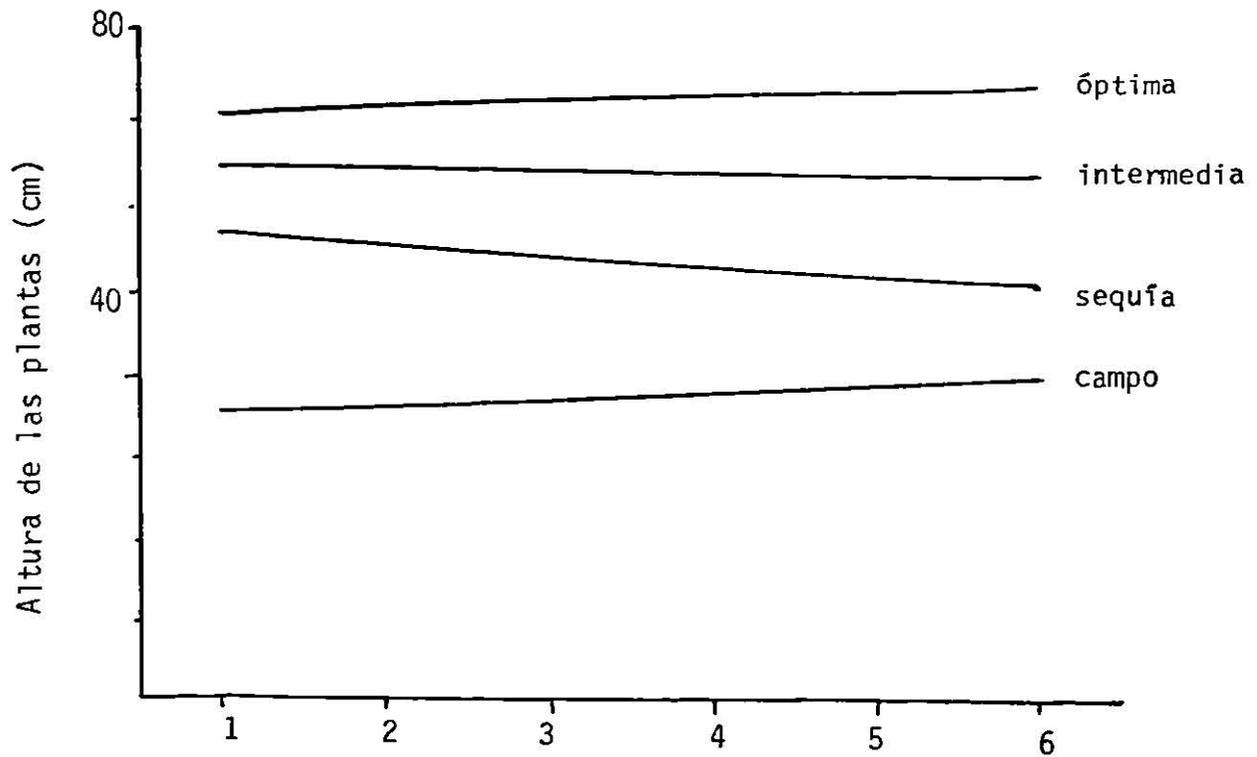


FIGURA 8. Tendencia de la altura de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad: óptima, intermedia, sequía y campo.

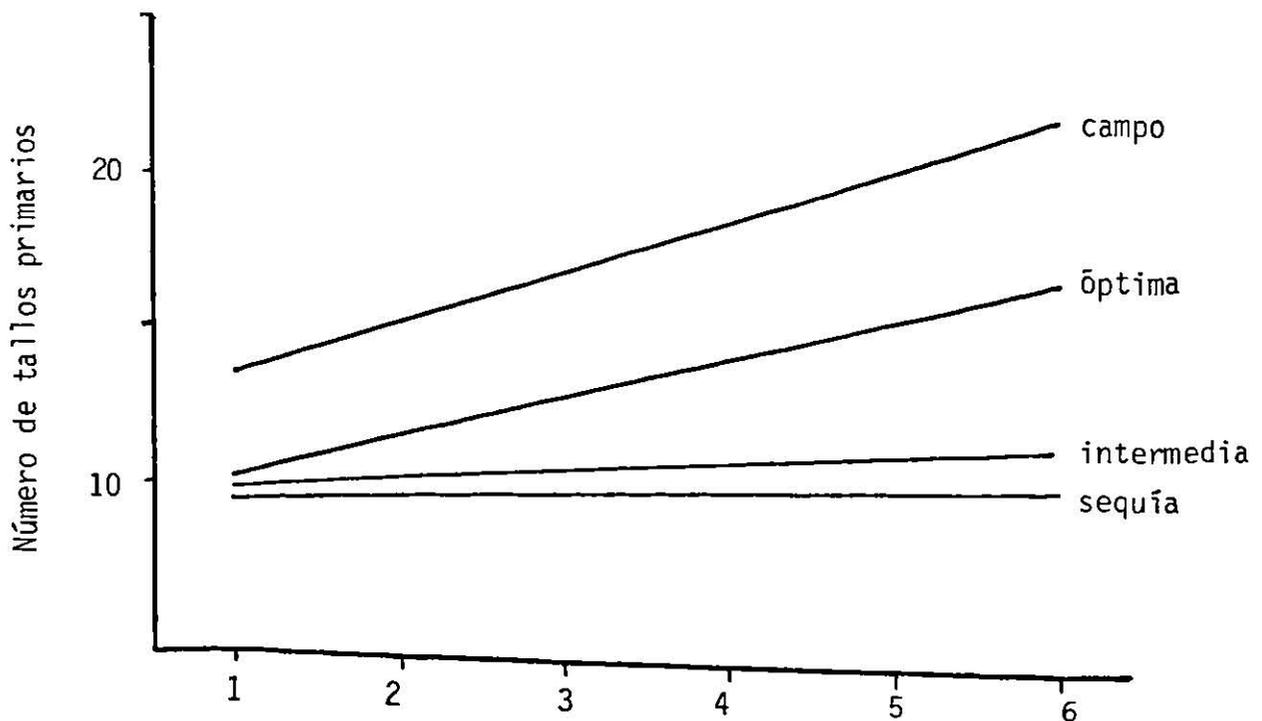


FIGURA 9. Número de tallos primarios de plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

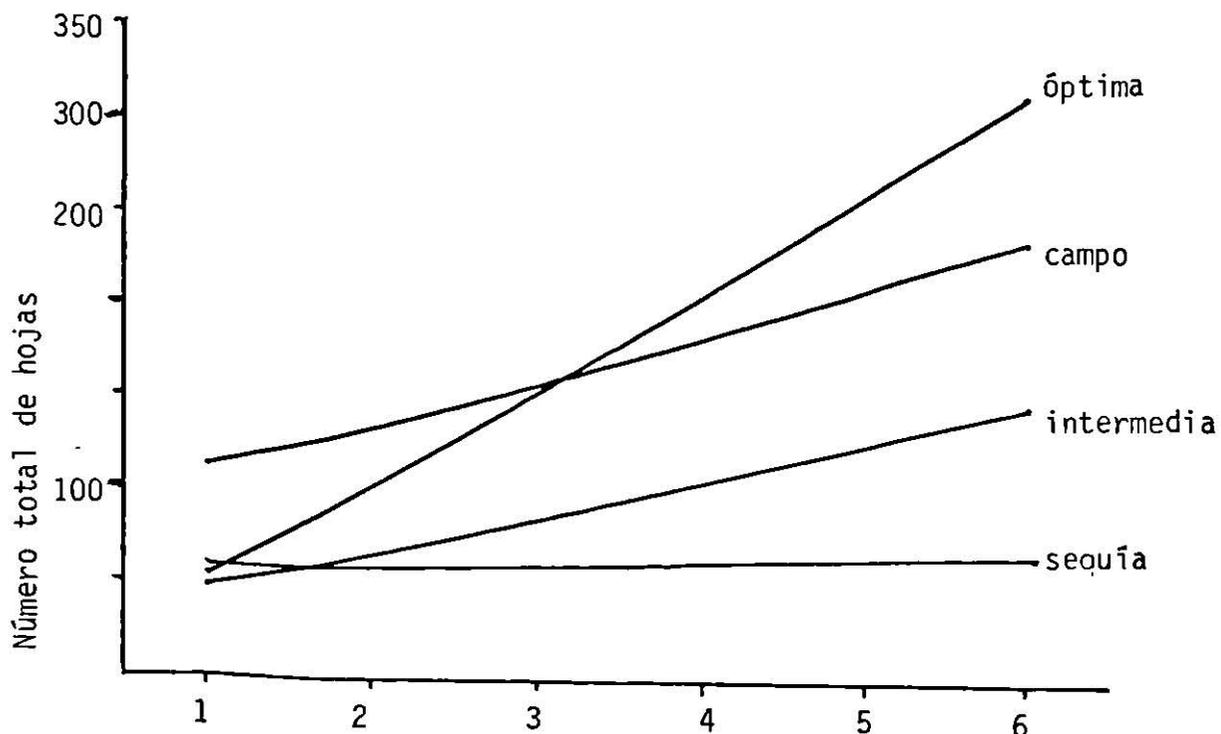


FIGURA 10. Número total de hojas de plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

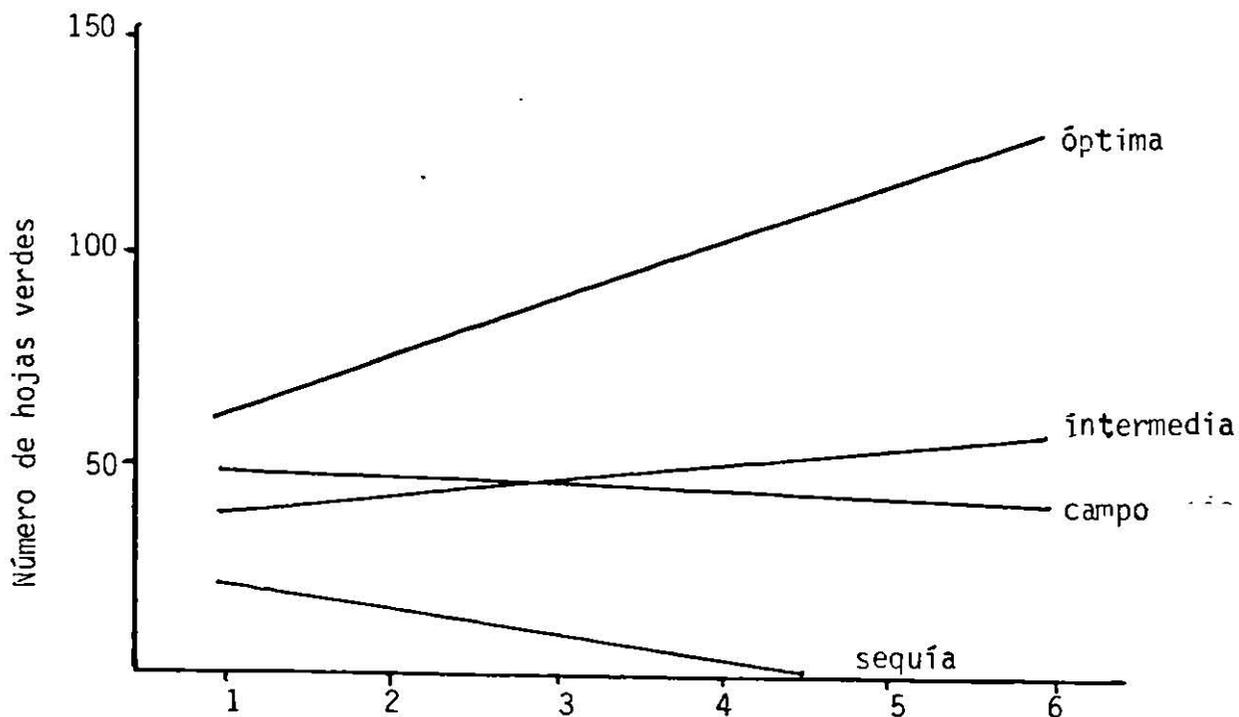


FIGURA 11. Tendencia del número de hojas verdes de las plantas de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.) desarrollándose en diferentes condiciones de humedad.

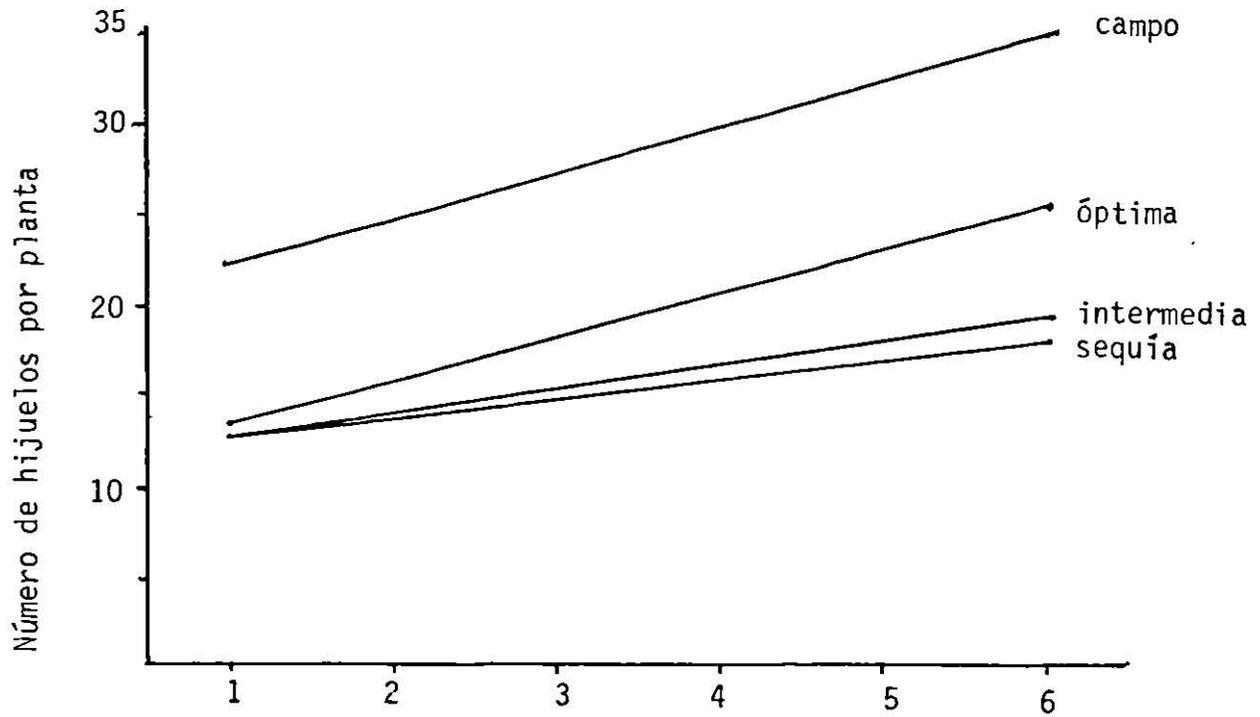


FIGURA 12. Producción de hijuelos de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en diferentes niveles de humedad.

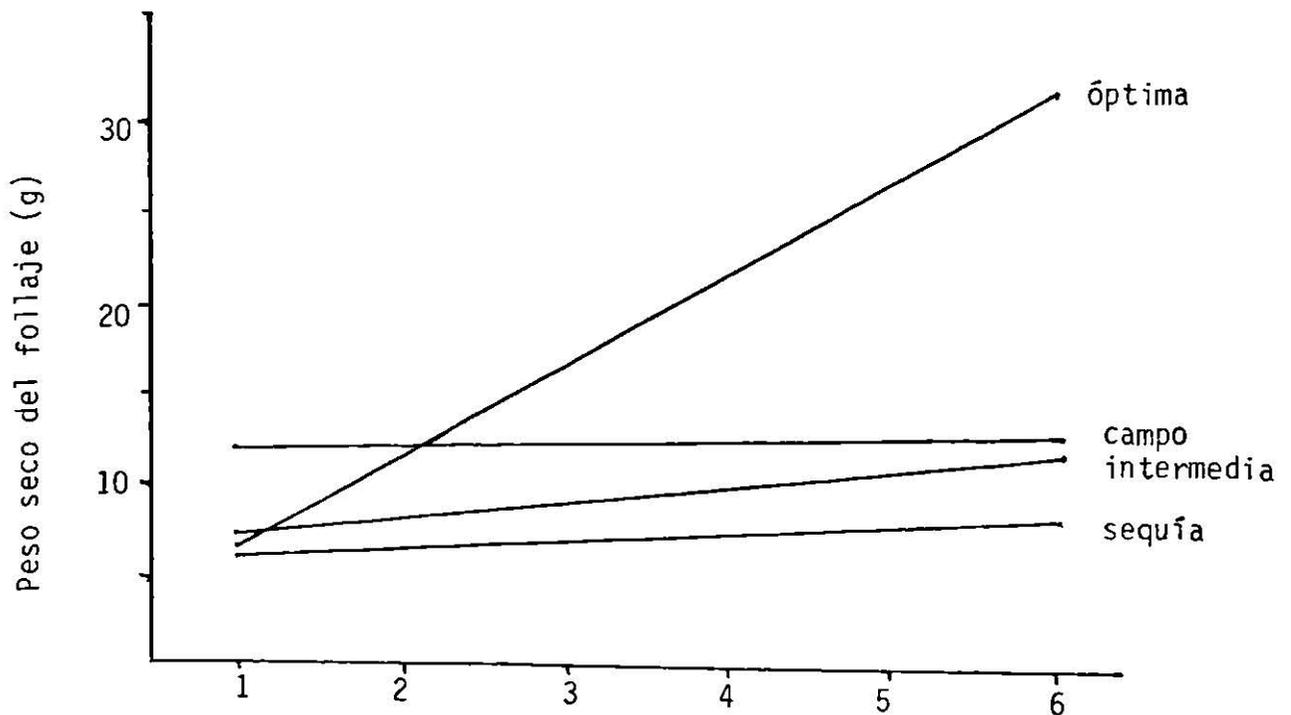


FIGURA 13. Aumento del peso seco del follaje de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

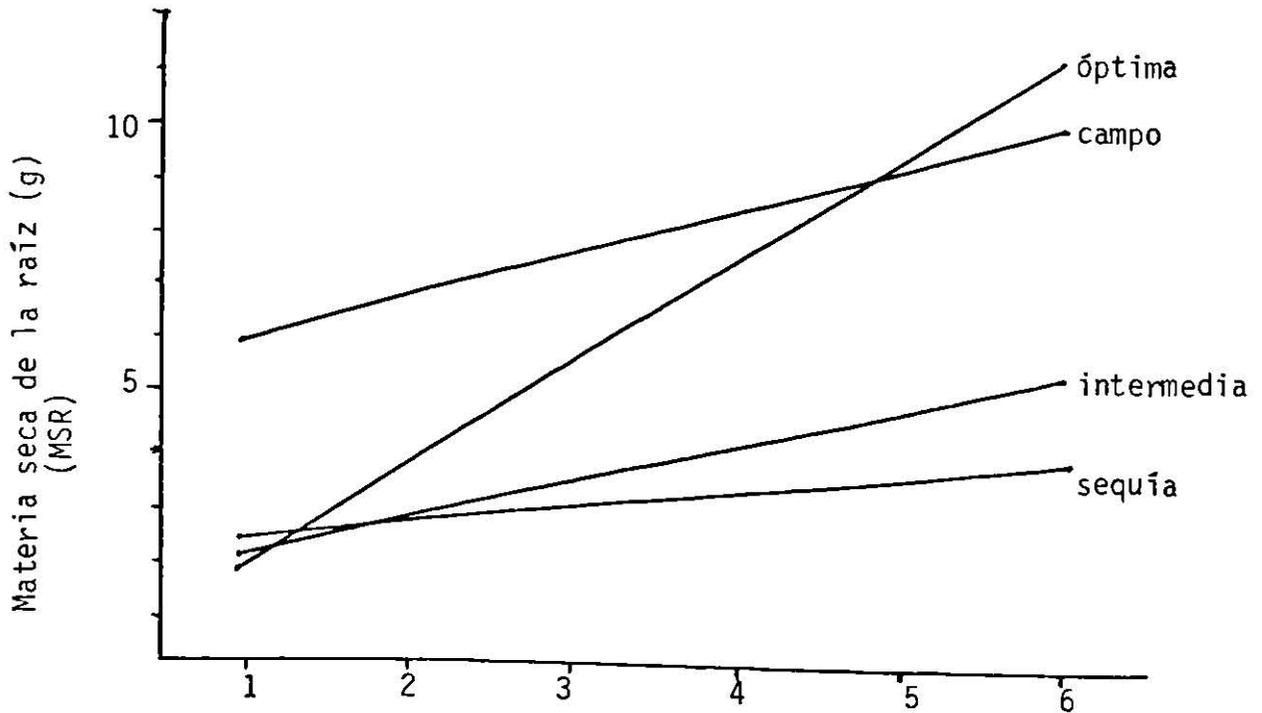


FIGURA 14. Tendencia del desarrollo de la raíz (peso seco/g) en plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) creciendo en diferentes condiciones de humedad.

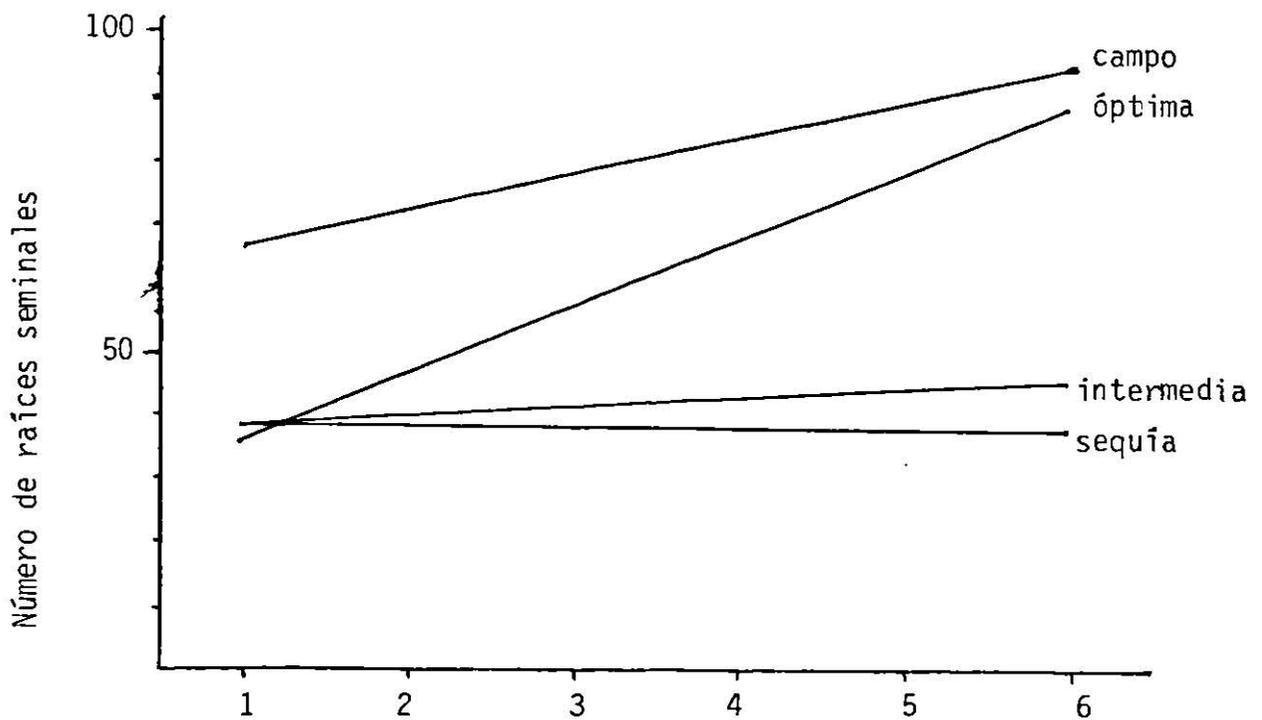


FIGURA 15. Desarrollo de las raíces seminales de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en diferentes condiciones de humedad.

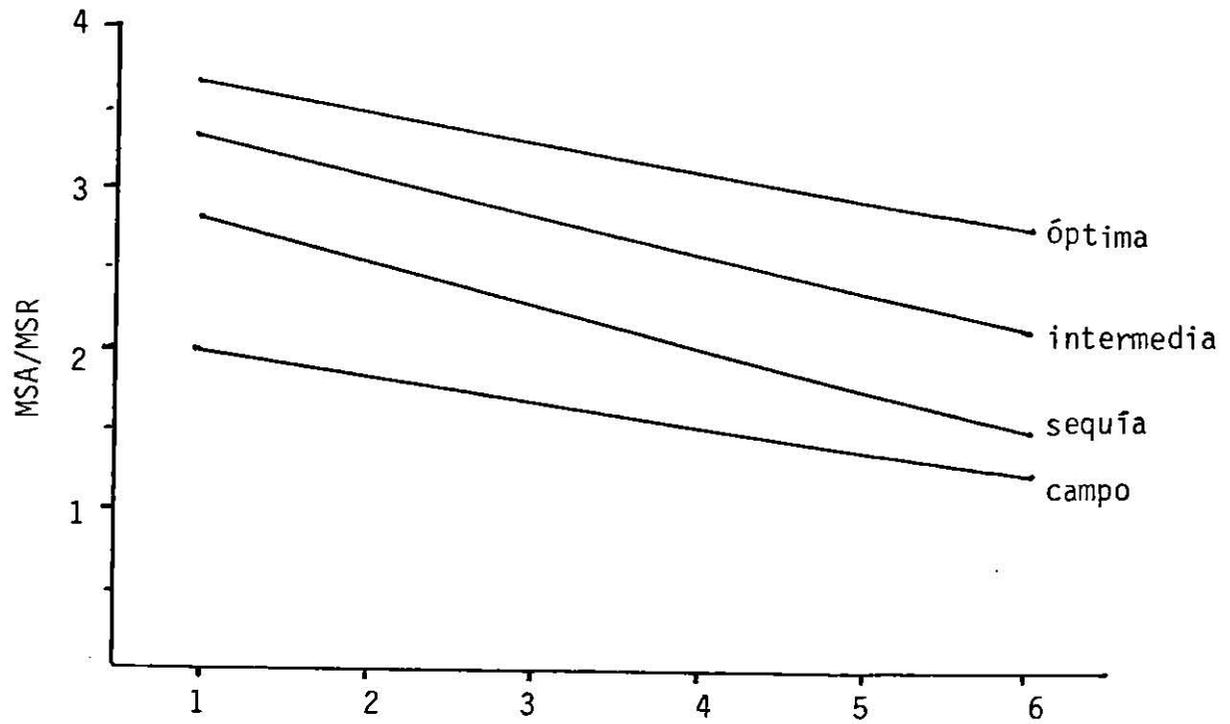


FIGURA 16. Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en diferentes condiciones de humedad; cuanto más alta es la proporción MSA/MSR, mayor será el desarrollo del follaje en comparación al desarrollo de la raíz

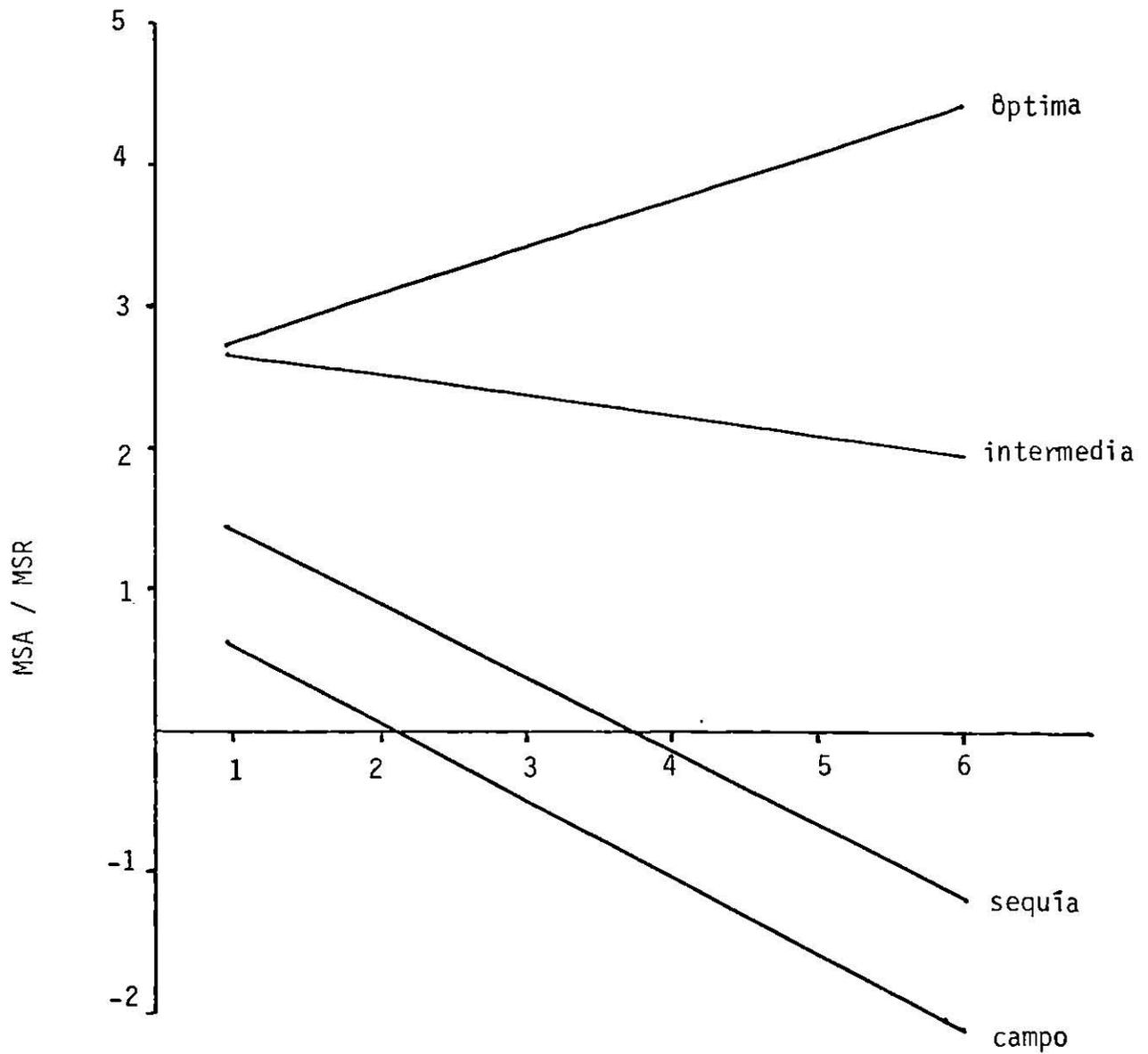


FIGURA 17. Tendencias de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) variedad Gayndah al crecer en diferentes condiciones de humedad.

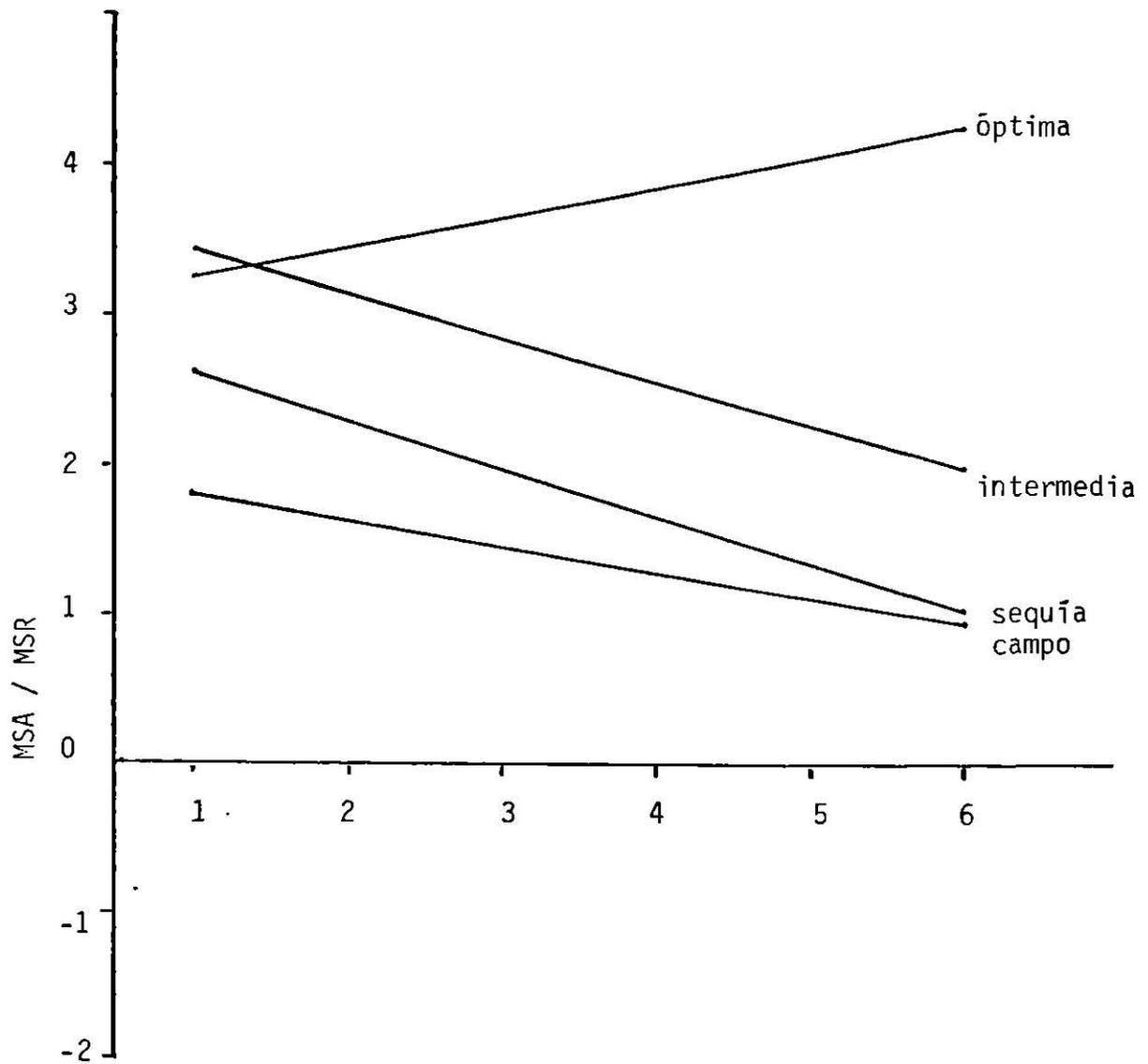


FIGURA 18. Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) variedad Común al crecer en diferentes condiciones de humedad.

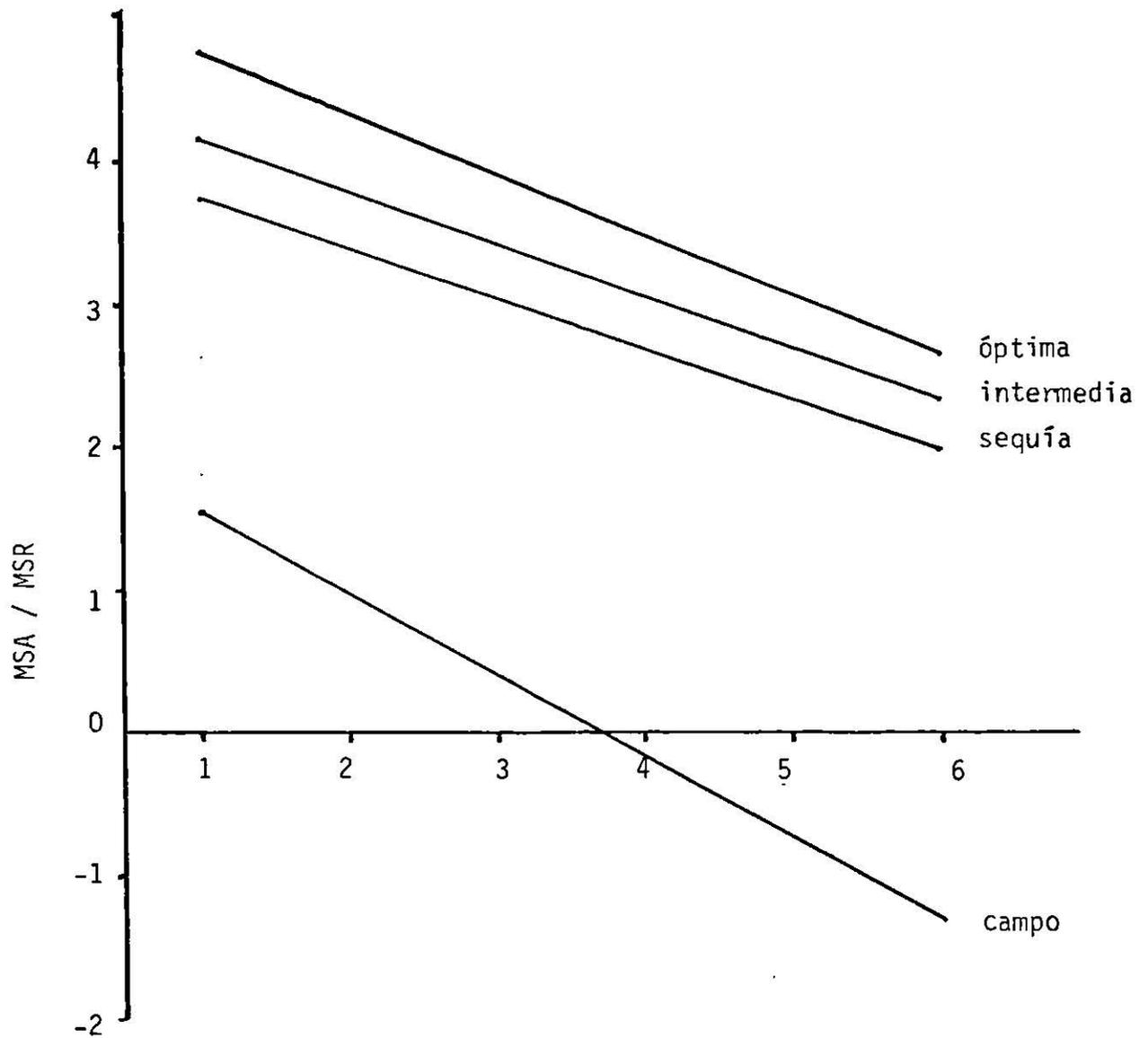


FIGURA 19. Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) variedad Llano al crecer en diferentes condiciones de humedad.

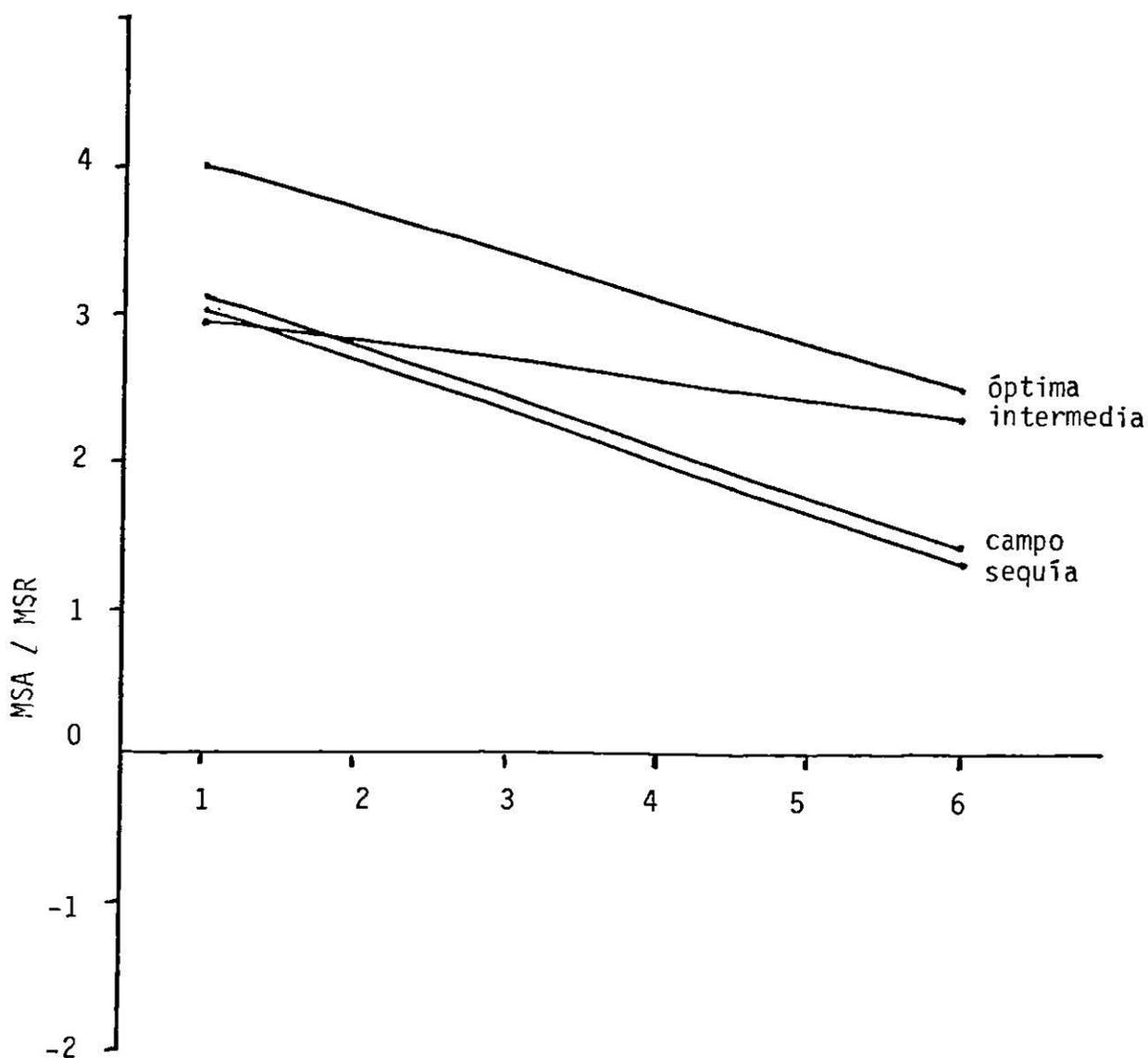


FIGURA 20. Tendencia de la proporción MSA/MSR de las plantas de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) variedad Biloela al crecer en diferentes condiciones de humedad.

5. DISCUSION

La vegetación de las zonas áridas es un recurso de vital importancia, no existe ningún otro factor que determine cambios tan rápidos en la apariencia y potencialidad de las tierras y al mismo tiempo, pueda ser tan fácilmente modificados por el hombre y los animales domésticos.

La historia del uso de los pastizales del norte de México es el sobrepastoreo crónico, que ha ocurrido prácticamente desde la introducción del ganado en América. Lo anterior ha ocasionado el deterioro de estos pastizales. Una de las alternativas más viables para la regeneración de los pastizales en regiones como la nuestra, ha sido la introducción de especies más competitivas. El pasto Buffel es una alternativa que hasta la fecha ha demostrado ser viable, por lo que son necesarios mayores estudios para conocer su ecología y llevar a cabo un manejo más eficiente de esta especie.

Un factor ambiental común y parte de los ecosistemas de los pastizales como el estrés hídrico afecta el crecimiento y desarrollo al causar alteraciones en los procesos fisiológicos y provocando cambios anatómicos y morfológicos que modifica el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para estudiar el manejo del zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.), una especie originaria de Africa ecuatorial que ha tenido gran aceptación en el norte de México, resulta de gran interés práctico para conocer como afecta el estrés hídrico a las plantas, cuá

les son sus diversas adaptaciones y cómo se comportan los diferentes genotipos en estos ambientes. El presente trabajo proporciona una descripción del crecimiento y desarrollo general del zacate Buffel en diferentes condiciones de humedad, para el propósito de estudiar los efectos del estrés hídrico en diferentes variedades y establecer la tolerancia a la sequía y las razones de esta tolerancia.

El zacate Buffel por sus características de adaptación a nuestro medio, las zonas semiáridas posee una eficiente combinación de factores fisiológicos y anatómicos que le capacitan para sobrevivir en ambientes poco propicios. El zacate Buffel posee ventajas adaptativas, tanto para evadir la sequía como para tolerar sus efectos.

5.1. La evasión a la sequía en zacate Buffel

Aunque la evasión a la sequía se considera una característica de las gramíneas anuales de tamaño pequeño, el zacate Buffel una gramínea perenne que actúa como anual en condiciones de extrema aridez en el oeste de la India (Pandeya, 1976). Presenta ventajas adaptativas para evadir la sequía.

5.1.1. Los medios de dispersión

Las semillas del zacate Buffel se encuentran dentro de un floósculo compuesto de varias espiguillas con su involucro de setas, un involucro puede tener de 0 a 4 semillas fértiles, estos involucros son arrastrados por el viento a una considerable distancia hasta quedar atrapados en los espa-

cios entre las rocas o en alguna concavidad del terreno donde finalmente se depositan y cuando llega la lluvia y llena estas concavidades, las plantas germinan en un ambiente favorable. En conclusión, el involucro como medio de dispersión de las semillas, aumenta las probabilidades de que éstas lleguen a un lugar apropiado para su germinación y establecimiento.

5.1.2. El inhibidor de la germinación

Lairi y Karabanda (1963) encontraron que en las semillas de zacate Buffel una sustancia inhibidora de la germinación soluble en agua, está considerada como un mecanismo de adaptación a la sequía, por que evita la germinación de las semillas después de lluvias ocasionales de poca magnitud, durante la primera fase de la presente investigación se comprobó lo anterior. Utilizando arena como medio de germinación; el porcentaje de germinación se elevó considerablemente en comparación al obtenido al utilizar cajas de Petri (Figura 1). Aparentemente en la arena el inhibidor fue lixiviado rápidamente, mientras que en las cajas de Petri el inhibidor siguió en contacto con la semilla, reduciendo notablemente el porcentaje de germinación.

En condiciones naturales, las semillas de zacate Buffel no germinan después de lluvias ocasionales y de poca magnitud aún cuando éstas se encuentren rodeadas de humedad, solo una precipitación considerable o en repetidas ocasiones podría lixiviar el inhibidor hacia horizontes del suelo más profundos

y la semilla germinaría, contando así con humedad suficiente para asegurar el desarrollo y establecimiento de las plántulas. Se pudo apreciar (Figura 1) que la variedad Gayndah mostró el mayor aumento en el porcentaje de germinación al colocarse las semillas en arena para su germinación en comparación a las cajas de Petri, mientras que en la variedad Molopo fue menor la diferencia entre los porcentajes de germinación obtenidos al utilizar arena y cajas de Petri. Lo anterior nos permite asumir que quizás la cantidad de inhibidor varía entre genotipos. Posiblemente las semillas de la variedad Gayndah, un genotipo de porte bajo, originario de las zonas áridas de Kenia, Africa más adaptado a las condiciones de aridez posee una mayor cantidad de inhibidor.

5.1.3. Características del vigor de las plántulas

Durante el establecimiento en condiciones de humedad óptima, las plántulas de zacate Buffel tuvieron la mejor expresión fenotípica para su desarrollo expresado en los parámetros de altura y número de hojas del primer tallo y el desarrollo de los hijuelos formando nuevos tallos que aumentaron el número de hojas por plántula, lo cual aumentó rápidamente la capacidad fotosintética de la plántula y favoreció la acumulación de reservas. Observaciones similares han sido reportadas por Turner et al. (1980) quienes indicaron que el vigoroso crecimiento de las plántulas es un deseable e importante atributo que puede ser determinante para la supervivencia de las plántulas. Asimismo, Hurd (1968) menciona que el rápido

do desarrollo de las plántulas es considerado como una característica de tolerancia a la sequía, pues las plántulas que más rápido se desarrollan, alcanzando a establecerse antes que la humedad se agote, tienen mayores probabilidades de sobrevivir.

Durante el experimento se encontró que las variedades de porte alto, Molopo, Boorara, Biloela y Nueces desarrollaron una mayor altura en sus tallos, en comparación a las variedades de porte bajo Birdwood, Gayndah y Común, cuyos tallos tuvieron menores promedios de altura; sin embargo, las variedades de porte bajo desarrollaron una mayor cantidad de hijuelos con un mayor número de hojas, formando un follaje más compacto y menos expuesto a factores ambientales.

En la prueba de campo donde las condiciones de escasez de humedad fueron más adversas debido a que las plántulas estuvieron expuestas a factores ambientales como una mayor insolación, vientos y baja humedad relativa se observaron ciertas características del desarrollo de la plántula para sobrevivir y continuar vivas aún en las condiciones extremas de escasez de humedad.

Se observó que el estrés hídrico tuvo un efecto detrimente sobre todos los parámetros del desarrollo vegetativo (Figuras 2, 3, 6, y 7) principalmente sobre la altura de los tallos y el número de hojas. Esto es debido quizás a los efectos fisiológicos del estrés hídrico; el bajo nivel de translocación y transporte de nutrientes que requieren las partes aéreas en

crecimiento (Laude, 1971) y a la disminución en la presión de turgencia de la célula que reduce la elongación y agrandamiento de las células, disminuyendo el tamaño de los tejidos en formación (Turner et al., 1980). Sin embargo, mientras el estrés hídrico retardó el desarrollo del follaje, las plántulas continuaron activas desarrollando un mayor número de hijuelos (Figura 4). aunque éstos eran de tamaño pequeño. De esta manera, las plántulas de Buffel sobreviven por que las pérdidas de agua por transpiración a través de una reducida área foliar son mínimas y la gran cantidad de hijuelos son los potenciales tallos que aseguran un abundante rebrote cuando se presentan de nuevo las condiciones de humedad. Así se encontró otra característica del vigor; el potencial amacollamiento de acuerdo a Isley (1958) quien considera que los atributos de la plántula que favorecen el establecimiento en condiciones adversas son necesariamente características del vigor de la plántula.

5.2. Tolerancia del zacate Buffel a los efectos de la sequía

Para las gramíneas perennes de las zonas áridas y semi-áridas caracterizadas por climas extremos e impredecibles, las condiciones de sequía son inevitables. Algunas de estas gramíneas como el zacate Buffel, poseen otras características que le capacitan para tolerar los efectos de la sequía mediante un retardo en la transpiración o tolerando la deshidratación.

5.2.1. Retardo en la deshidratación

Esto ocurre mediante características morfológicas y adaptaciones fisiológicas, las cuales reducen la transpiración e incrementan la absorción de agua, aumentando la capacidad de la planta para tolerar la sequía. Algunas de las adaptaciones encontradas en zacate Buffel son:

5.2.1.1. Las características del follaje de zacate Buffel que reducen la transpiración en condiciones de escasa humedad: Estudiando los efectos del estrés hídrico sobre los principales componentes del desarrollo del follaje; altura, número de tallos primarios, número de hojas y número de hojas verdes, y el peso del follaje, se encontró que la escasez de humedad es un factor limitante para el desarrollo de la altura (Figura 8). Las plantas que crecieron en condiciones de más escasa humedad desarrollaron un follaje de menor altura. El menor crecimiento de las plantas ha sido atribuido a los efectos fisiológicos del estrés hídrico sobre el crecimiento. Cloush et al. (1971), Hsiao (1973) mencionan que uno de los primeros efectos es la reducción de la elongación y agrandamiento celular en los meristemas, componentes inmediatos del crecimiento y el retardo en la translocación y transporte de nutrientes a las partes aéreas de la planta (Laude, 1971).

El número de tallos primarios disminuyó significativamente al escasear la humedad (Figura 9), se observó que el estrés hídrico afectó el desarrollo de los hijuelos, retrazando la formación de nuevos tallos, la correlación ($r = 0.7870$) entre el número de tallos primarios y el peso seco indica que el

retardo en la formación de nuevos tallos afectó el peso del follaje, lo cual podría ser una ventaja; un follaje de menor tamaño evitaría las excesivas pérdidas de agua por transpiración.

El número de hojas principal componente del área foliar, fue muy afectado por el estrés hídrico (Figura 10), se observó que la producción de hojas nuevas disminuyó al escasear la humedad e incluso se suspendió en las condiciones de sequía. Al contar el número de hojas verdes (Figura 11), se encontró que el estrés hídrico además de disminuir la producción de hojas nuevas aceleró la senescencia de las hojas ya presentes, lo cual disminuyó el número de hojas verdes y por lo tanto, la funcionalidad del follaje de la planta. Fisher (1965), Boyer (1970), Acevedo et al. (1971) consideran que una importante consecuencia del estrés hídrico sobre el número de hojas es la reducción del área foliar, la cual está asociada a la reducción de las pérdidas de agua por transpiración. Fisher (1966), Ludlow (1975) realizaron observaciones similares y además mencionan que el estrés hídrico reduce el área foliar por la aceleración de la senescencia fisiológica de las hojas más viejas. La menor producción de hojas nuevas y la aceleración de la senescencia de las hojas viejas es un importante mecanismo para reducir el área foliar funcional y disminuir la proporción de agua usada retardando las pérdidas por transpiración el comienzo de un severo estrés hídrico.

El cierre de los estomas para evitar una pérdida excesiva de agua, ofrece un margen de protección para las hojas contra las pérdidas de humedad. Al disminuir la presión de turgencia

en las células de oclusión, los estomas comienzan a cerrarse y el grado de transpiración disminuye (Ray, 1964). Sin embargo, Begg et al. (1976) cuestionan el valor de la rápida respuesta de los estomas durante un moderado estrés hídrico puede ser una ventaja en regiones donde la sequía es de corta duración, pero de efectos detrimentes cuando las sequías duren largo tiempo, porque la fotosíntesis será afectada por la interrupción en el acopio de CO_2 antes que la actividad fotosintética sea inhibida por el estrés hídrico. Mishra (1983) señala en el pasto Buffel una ventaja adaptativa para la fijación del CO_2 . El ciclo de Hatch y Slack (C4) durante las primeras horas luz del día forma compuestos de cuatro carbonos que permite que el CO_2 se fije durante las primeras horas de luz, por adición al fotoenolpiruvato (PEP) catalizado por la enzima carboxilasa, el producto de la reacción es ácido oxálico, el cual es capaz de formar otros compuestos de cuatro carbonos. Allamong et al. (1979) explica las ventajas de esta adaptación; en las plantas en las cuales se verifica el ciclo de Calvin y Benson (C3) reducen su producción de carbohidratos durante las horas en que la luz es más brillante y las temperaturas son más elevadas. Por otra parte, las plantas C4 cierran sus estomas y evitan la excesiva pérdida de humedad; sin embargo, continúan aumentando su velocidad de fotosíntesis cuando las plantas C3 se detienen por carecer de CO_2 . Ville (1981) indica que las plantas C4 evolucionaron en zonas del mundo con temperaturas elevadas, intensidades fuertes de luz y cantida-

des limitadas de agua y tienen un óptimo de temperatura más elevado, un óptimo de luz más intenso y una menor pérdida de agua por transpiración que las plantas que solo disponen de las vías C3.

5.2.1.2. Características del desarrollo radicular del zacate Buffel para incrementar la absorción de agua. El sistema radicular del pasto Buffel muestra un alto grado de plasticidad que le permite enfrentarse a las más variadas condiciones de suelos y escaséz de humedad. En condiciones de humedad óptima el pasto Buffel muestra una continua producción de nuevas raíces, aumentando grandemente la extensión del sistema radicular (Figura 15), en condiciones extremas de sequía se observó que la producción de nuevas raíces seminales fue más escasa; sin embargo, aumentos en el peso de la biomasa radicular (Figura 14) parecen indicar que las raíces seminales que estaban ya presentes continuaron desarrollándose en longitud y produciendo una mayor cantidad de raicillas secundarias y terciarias. De esta manera, las plantas cuyo follaje había fenecido totalmente continuaron aumentando la extensión del sistema radicular para aprovechar la escasa humedad.

5.2.1.3. Proporción materia seca aérea/materia seca de la raíz (MSA/MSR). Para conocer como los factores ambientales afectan y modifican la proporción entre el crecimiento del follaje y el crecimiento de la raíz se tomó en cuenta el cociente de la división materia seca aérea entre la materia seca de

la raíz (MSA/MSR). En este estudio se observó que al disminuir la humedad disponible, se redujo la proporción MSA/MSR (Figura 16). La escasez de humedad parece afectar más el crecimiento de las partes aéreas que el desarrollo de la raíz; Hsiao et al. (1976) y Laude (1971) atribuyen la reducción del crecimiento del follaje en condiciones de sequía a los efectos fisiológicos del estrés hídrico sobre el crecimiento celular y la translocación de nutrientes. Por otra parte, Acevedo et al. (1971) indican que la intensidad del estrés hídrico es proporcional a la reducción del crecimiento del follaje y una de las más importantes consecuencias es la reducción del área foliar, la cual está asociada a la disminución de las pérdidas de agua por transpiración. Lo anterior es un mecanismo para reducir la cantidad de agua usada, que retarda la deshidratación de la planta durante el estrés hídrico.

Además de la reducción en las pérdidas de agua, la disminución de la tasa MSA/MSR muestra una relativamente mayor desarrollo de la raíz para un mejor aprovechamiento de la humedad del suelo (Pearson et al., 1966; Hoffman et al., 1971). Bennett et al. (1960) realizaron observaciones similares e indicaron que en algunos casos el estrés hídrico parece favorecer más el crecimiento de la raíz en comparación al crecimiento del follaje.

Durante el desarrollo de este experimento se observó que en todas las condiciones de humedad la MSA/MSR mostró una

tendencia negativa (Figura 16), i.e., que las plantas de Buffel desarrollaron en mayor proporción su sistema radicular en comparación al crecimiento del follaje. Aún en las plantas que crecieron en las condiciones extremas de sequía, cuyo follaje había fenecido totalmente y dejó de crecer, muestran en este índice una tendencia a disminuir, lo cual indica que las plantas continuaron activas, su sistema radicular continuó desarrollándose y aumentando en longitud. Las raíces seminales ya presentes continuaron desarrollando una mayor cantidad de raicillas secundarias y terciarias aumentando el peso de la raíz (Figura 14).

5.2.2. Tolerancia a la deshidratación del zacate Buffel

La tolerancia del zacate Buffel a la deshidratación puede considerarse como la capacidad de sobrevivir durante los prolongados períodos de sequía y recuperarse mostrando un abundante crecimiento cuando terminan las condiciones de sequía.

De acuerdo a las observaciones realizadas, la tolerancia del zacate Buffel a la deshidratación puede considerarse en dos etapas, las cuales son: la dormancia estival y el re-
crecimiento o reborte al final de la sequía.

5.2.2.1. La dormancia estival del zacate Buffel. En las condiciones de sequía donde la escasez de humedad fue progresiva y permanente, se observó como el zacate Buffel sobrevive a los períodos prolongados de escasez de humedad, se encontró

que los efectos fisiológicos del estrés hídrico afectan mayormente el desarrollo del follaje, fue específicamente afectada la producción de nuevas hojas (Figura 10) y por tanto, el número de hojas verdes disminuyó rápidamente (Figura 11) acelerando la senescencia de las plantas, lo cual redujo el área foliar funcional. Acevedo et al. (1971), Hsiao (1974) mencionan que la reducción en el área foliar funcional es una adaptación para reducir las pérdidas de agua por transpiración. Las plantas aparentemente suspendieron el crecimiento del follaje, pues se observó en la gráfica del peso seco del follaje (Figura 13) que en la condición de sequía muestra valores casi constantes, una observación similar fue hecha por Laude (1953) quien define dormancia de verano como la suspensión del crecimiento durante las condiciones de sequía; sin embargo, durante el experimento se observó que la suspensión del crecimiento es aparente, pues al estudiar el sistema radicular se encontró que la raíz continuaba aumentando de peso (Figura 14) aunque la producción de nuevas raíces seminales fue muy escasa (Figura 15). Posiblemente el aumento de peso se debió a que las raíces ya presentes continuaron creciendo en longitud y produciendo más raíces secundarias y terciarias aumentando así el peso de la raíz.

La senescencia y suspensión del crecimiento del follaje y el continuo aumento en el peso de la raíz, se observaron en los reducidos valores de las tasas de MSA/MSR (Figura 16) los cuales muestran una tendencia a disminuir. De esta ma

nera las plantas reducen al mínimo las pérdidas de humedad por transpiración y continúan aprovechando la escasa humedad del suelo, sobreviviendo así a las prolongadas condiciones de sequía.

5.2.2.2. El recrecimiento o rebrote del zacate Buffel (la recuperación después de la sequía). En la prueba de campo donde las condiciones alternadas de sequía y humedad provocaron el rebrote de las plantas, se observó la rápida recuperación del zacate después de los períodos de sequía. Las plantas que se encontraban totalmente senescentes y en las cuales el crecimiento del follaje se había suspendido, al contar de nuevo con humedad tuvieron un sorprendente rebrote, el cual ha sido atribuido por Lenkel (1927) a la acumulación de reservas durante las estaciones previas. Por su parte, Ayerza (1981) explica que en el zacate Buffel comparado con otras especies, una más alta proporción de productos asimilados es transportada a las raíces y rizomas. El rebrote de las plantas al contar de nuevo con humedad comenzó con el desarrollo de nueva raíces seminales y el crecimiento de gran cantidad de hijuelos que se desarrollaron hasta formar numerosos tallos que aumentaron rápidamente el número de hojas y la capacidad fotosintética de las plantas.

Lo que en este trabajo se pudo observar coincide con los reportes en la literatura para especies que habitan en zonas donde la sequía es frecuente, incluso forma parte del

mismo ecosistema y en donde especies como el Cenchrus ciliaris L. tienen que haber evolucionado para sobrevivir, producir y tolerar la predación que hacen los organismos sobre su follaje.

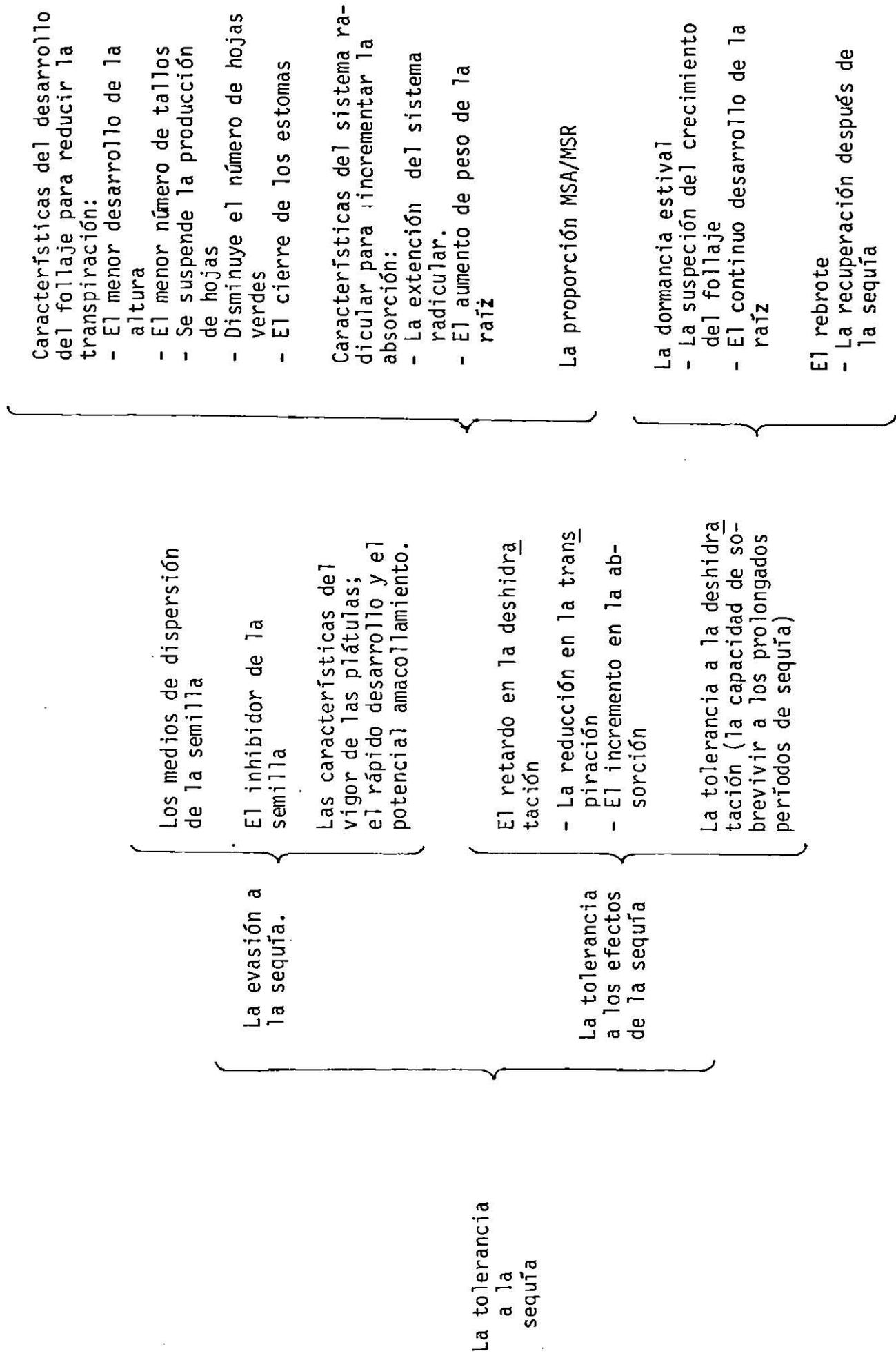


FIGURA 21. Tolerancia a la sequía en zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.). Características de evasión y tolerancia a sus efectos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, es posible concluir lo siguiente:

1. La tolerancia a la sequía no depende de la posesión de un simple carácter adaptativo, sino de una óptima combinación de caracteres que minimizan los objetivos determinantes del estrés hídrico y aumentan la capacidad de la planta para sobrevivir a la sequía.
2. La capacidad de dispersión de los involucros del zacate Buffel es una característica adaptativa para aumentar las posibilidades de las semillas de germinar en un lugar apropiado.
3. El inhibidor de la germinación es una ventaja adaptativa para evadir a la sequía porque retrasa la germinación de la semilla hasta presentarse las condiciones de humedad que permitan su establecimiento.
4. Algunas de las estrategias observadas en el zacate Buffel para tolerar la sequía incluyen: el retardo en el crecimiento de las plantas, una menor área foliar, la senescencia del follaje, la dormancia estival, la producción de hijuelos.
5. En condiciones extremas de escasez de humedad, las plan

tas de zacate Buffel continuaron desarrollando su sistema radicular, aunque la producción de nuevas raíces seminales disminuyó, continuaron desarrollándose en longitud las que estaban ya presentes.

6. La versatilidad de los hábitos de crecimiento del zacate Buffel al desarrollarse en diferente proporción, el follaje y la raíz (MSA/MSR) dependiendo de la condición de humedad, es una ventaja adaptativa para reducir las pérdidas de agua por transpiración e incrementar la absorción.
7. En el zacate Buffel la acumulación de reservas en la corona basal, raíces y rizomas durante las estaciones previas y la formación de gran cantidad de hijuelos durante el período de sequía, aseguran la rápida recuperación de las plantas al final de la sequía, mostrando un abundante rebrote.
8. Las variedades de porte bajo; Gayndah, Común y Birdwood, mostraron una mayor habilidad para tolerar las condiciones de sequía.

En base a lo anterior, es posible hacer las siguientes recomendaciones:

1. Realizar estudios similares a este en otras plantas del pastizal para comparar el comportamiento y autoecología de diferentes especies en condiciones limitadas de humedad.

2. Los genotipos de porte bajo; Gayndah, Común y Birdwood, por sus características de adaptación a la sequía son más recomendables para las áreas secas y por lo tanto, para la resiembra en los pastizales de las zonas semiáridas.
3. Al efectuar la siembra es necesario considerar las características de la semilla del zacate Buffel; el involucro como medio de dispersión y el inhibidor de la germinación para aprovechar sus ventajas adaptativas.
4. La senescencia del follaje, característica de la dormancia estival del zacate Buffel, no es un proceso reversible, el follaje no es ya una parte funcional de la planta. Por lo tanto, sería posible dar una sobreutilización al pastizal para aprovechar los remanentes del forraje y utilizar las especies forrajeras menos deseables controlando también las invasoras.
5. No es recomendable pastorear el zacate Buffel al principio de la temporada de lluvias, cuando aumenta considerablemente la producción forraje debido al rebrote que se presenta después que las plantas han sufrido un prolongado período de estrés hídrico, por que el inicio del rápido crecimiento durante el rebrote, depende del desgaste de la mayor parte de las reservas acumuladas.

7. BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, E. and T.C. HSIAO. 1971. Plant physiol. 48:631.
- ALLAMONG, B.D. and T.R. MERTENS. 1979. Energía de los procesos biológicos. LIMUSA. México, D.F. p.
- AMEN, R.D. 1966. The extent and role of seed dormancy in alpine plant. Quart. Rev. Biol. 41:217-281.
- AYERZA, R. 1981. El Buffel Grass: utilidad y manejo de una promisorá gramínea. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. p. 38, 39.
- BEGG, J.E. and N.C. TURNER. 1976. Dehydration tolerance. Adv. Agron. 28:160-162.
- BENNETT, O.L. and B.D. DOSS. 1960. Agron. J. 52:204.
- BOYER, J.S. 1970. Plant Physiol. 46:233.
- CARSON, E.W. 1974. The plant root and its environment. University Press of Virginia. United States of America. p. 34, 49-52.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. 1964. Life in desert. Foulis, Londres. p. 20.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. 1979. El hombre y la biología de las zonas áridas. Blume, España. p. 76-79.
- CLOUGH, B.F. and F.L. MILTHORPE. 1971. Aust. J. Plant Physiol. 48:631.

- DAGG, M. and M. McQUEEN. 1967. Rooting habits of East African Grasses. Rep. E. Afr. Agric. For. Res. Org. 1966:21-24.
- FISHER, R.A. and R.M. HAGAN. 1965. Exp. Agric. 1:161
- FISHER, R.A. and G.D. KOHN. 1966. Aust. J. Agric. Res. 17:255.
- HOFFMAN, G.I. and E.M. COLLEN. 1971. Agron. J. 63:822.
- HSIAO, T.C. 1973. The importance of water and heat stress, Annu. Rev. Plant Physiol. 24:518-520.
- HSIAO, T.C. and E. ACEVEDO. 1974. Agric. Meteorol. 14:59.
- HSIAO, T.C. and E. ACEVEDO. 1976. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. V. 273:479.
- HURD, E.A. 1968. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. Agron. J. 60:201-205.
- ISLEY, D. 1958. Testing for vigor. Proc. Ass. Off. Seed. Annals. 48:136-138.
- LAHIRI, A.N. and B.C. KHARABANDA. 1963. Germination inhibition in the spikelet glumes of Lasiurus indicus, Cenchrus ciliaris and Cenchrus setigerus. Annals Arid Zone India, 1(1-2):114-126.
- LAUDE, H.M. 1953. The nature of summer dormancy in perennial grasses. Bot. Gaz. 114:284-292.
- LAUDE, H.M. 1971. Drought influence on physiological processes In: drought injury and resistance in crops, publication

- number 2 by Kenneth, L.L. and J.D. Eastin. Crop Science Society of America. Madison Wisconsin 53711. p. 45-57.
- LE CLERC, J.A. and J.F. BREAZEALE. 1911. Translocation of plant food and elaboration of organic plant material in wheat seedlings. U.S.D.A. Bull. 138:7-32.
- LENKEL, W.A. 1927. Deposition and utilization of reserve foods in alfalfa plants, J. Amer. Soc. Agron. 19:596-623.
- LEVITT, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses Academic Press, New York, London. p. 690-697.
- LUDLOW, M.M. 1975. Environmental and biological control of photosynthesis, Junk, the Hague. Marcelle. p. 123.
- MISHRA, L.C. 1983. Hating induced chlorophyll degradation in two range grass species (Cenchrus ciliaris a carbon-4 pathway plant, and Oplismenos burmanii a carbon-4 pathway plant). Photosyntetica 17(1):95-96.
- NADI, A.H. and R. BROVWER. 1969. NETH. J. Agric. Sci. 17:133.
- PANDEYA, S.C. and V.M. BHANOT. 1976. The environmental and Cenchrus ciliaris grazing lands in western India. Saura shtra University, Rajkot, India. p. 451.
- PEARSON, R.W. and R. SHAW. 1966. Plant environmental and efficient water use. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Ann. Madison, Wisconsin, p. 95.
- PRATT, D.J. and M.D. GWYNNE. 1977. Rangeland management and ecology in east of Africa, Robert E. Krieger Publishing

- Co., Inc. Great Britain. p. 83-87.
- RAY, P.M. 1983. La planta viviente. 8a. Ed. Continental. Méxi
co, D.F. p. 75-80.
- ROBINS, J.S. and C.E. DOMINGO. 1953. Some effects of several
soil moisture deficits at specific growth stages in corn.
Agron. J. 45:618-621.
- SLATYER, R.O. and P.A. MORROW. 1977. Aust. J. Bot. 25:1.
- STEWART, F.C. 1969. Plant physiology. Volume II: plant in
relation to water and solutes. Academic Press Inc. New
York. London. p. 705-709.
- STODDART, L.A. and A.D. SMITH. 1955. Manejo de Agostaderos.
McGraw-Hill Book Co. United States of America p. 9, 10.
- TAERUM, R. 1970. Comparative shoot and root growth studies on
six grasses. Grasses in Kenia E. Afric. Agric. For. J.
36:94-113.
- TURNER, N.C. and P.J. KRAMER. 1980. Adaptation of plant to
water and high temperature stress wiley-interscience.
United States of America p. 7-65.
- VILLEE, A.C. 1981. Biología. 7a. ed. Interamericana, S.A. Mé
xico, D.F. p. 81-82.
- WENT, F.W. 1949. Ecology of desert plants. Ecology 30:1-13
- WRIGHT, L.N. and A.K. DOBRENZ. 1970. Efficiency of water use and seed-
ling drought tolerance of boer love grass. Eragrostis curvula Nees
Crop Sci. 10:1-2.

8. APENDICE

Registro de observaciones climatológicas hechas en la Estación Marín. Departamento de Meteorología y Climatología (Septiembre de 1984).

Día	Temperatura °C			Precipitación Pluvial (mm)
	Máxima	Mínima	Amb.	
1	35	22	25	
2	35	22	26	
3	30	22	23	
4	28	21	22	
5	30	20	23	34.2
6	22	20	22	4.6
7	31	30	21	14.0
8	31.5	22	23	0.8
9	38	21	22	6.8
10	24.5	20	25	
11	26.5	23.5	24	
12	32	22.5	24	
13	29	21.5	24	
14	37	21	23	
15	33	19	25	0.7
16	27	21	23	3.8
17	25	21	21.5	
18	29	20	21	
19	32	20	22	
20	32	16	18	
21	34	17	20	
22	33	18	22	
23	34	23	25	
24	35	24	27	
25	38	24	25	
26	32	21	26	0.1
27	28	21	22	
28	31	22	24.5	1.6
29	17	15	16	
30	19	14	15	3.5
Suma				70.5
Media	30.3	19.5		

Registro de observaciones climatológicas hechas en la Estación Marín. Departamento de Meteorología y Climatología (Octubre de 1984).

Día	Temperatura °C			Precipitación Pluvial (mm)
	Máxima	Mínima	Amb.	
1	20	15	16.5	
2	22	14	17	7.
3	22	17	19	1.3
4	27	20	22	
5	27	21	22	
6	28	21	24	
7	31	23	25	
8	31	22	20	
9	29	21	29	
10	29	20	22	
11	29	22	23	
12	30	21	22	
13	29	21.5	23	
14	36	18	22	
15	30	17	19	
16	34	19	23	
17	26	20	23	
18	35	23	25	
19	30	24	25	
20	38	23.5	25.5	
21	40	21	25	
22	23	21	22	1.2
23	19	15	16	5.
24	20	14.5	15	3.4
25	24	16	16	3.
26	19	16	19	0.6
27	30	23	24	
28	30	21	24	
29	31	21	22	
30	31	19	20	
31	31	20	23	
Suma				21.5
Media	28.5	19.7		

Registros de observaciones climatológicas hechas en la Estación Marín. Departamento de Meteorología y Climatología (Julio de 1985).

Día	Temperatura °C			Precipitación Pluvial (mm)
	Máxima	Media	Amb.	
1	34.5	21	23.5	
3	33.5	22	24.5	
3	33	23	23.5	15.
4	34.5	21	22	
5	36.5	20	22	
6	36	21.5	24.5	
7	36.5	22	24.5	
8	32	22	24.5	10.2
9	36.5	22	24.5	
10	36.5	22	24.5	
11	36	23	25	
12	36.5	23.5	24	
13	35.5	24.5	27	
14	36	24.5	26	
15	32.5	24.5	26	
16	33.5	24	24.5	
17	37	22	25	
18	27	23	25.5	
19	38	24	25	
20	38.5	25	26	
21	36.5	24.5	26	
22	36.5	26	26	
23	36.5	25.5	26.5	
24	36.5	26	27	
25	34.5	25	28	10.4
26	36.5	22	25.5	
27	36.5	23	26	
28	34.5	23.5	27	
29	36	25	27	
30	33	24	25	
31	38	21.5	24.5	
Suma				35.6
Media	35.6	23.5		

Registro de observaciones climatológicas hecnas en la Estación Marín, Departamento de Meteorología y Climatología (Agosto de 1985).

Día	Temperatura °C			Precipitación Pluvial (mm)
	Máxima	Mínima	Amb.	
1	38.5	24	26.5	
2	37	26	26	
3	36	23	25	
4	36.5	23.5	25	
5	38.5	24.5	24.5	
6	36	24	23.5	
7	35.5	23.5	24.5	
8	32.5	24.5	23.5	
9	39	25.5	23.5	
10	31	25.5	28	
11	33.5	23.5	29	
12	38	25.5	25.5	
13	34	26	27	2.5
14	32	21	21	
15	39	22	23.5	
16	38	25.5	23.5	
17	38	24	26	11.4
18	38.5	23	26	
19	39.5	24.5	29	
20	38	24	24	
21	37	25.5	24.5	
22	37.5	25	25	
23	38	24	25.5	
24	38	23.5	26.5	
25	36.5	24	26.5	
26	38.5	21.5	25.5	
27	38	22	24.5	
28	35	21.5	25	7.6
29	31	20	22	6.6
30	33	26.5	22	
31	27	22	24	
Suma				28.1
Media	36.6	23.6		

Registro de observaciones climatológicas hechas en la Estación Marín, Departamento de Meteorología y Climatología (Septiembre de 1985).

Día	Temperatura °C			Precipitación Pluvial (mm)
	Máxima	Mínima	Amb.	
1	36	22	23.5	
2	36.5	22	23.5	
3	37	22	25.5	
4	36.5	25	26.5	
5	38.5	25.5	26.5	
6	39	25	26	
7	38	24.5	25.5	
8	38	24.5	25.5	
9	35.5	23	26.5	
10	36	23.5	25	
11	36	25.5	26	
12	35.5	24.5	28	
13	35	24.5	28	75.5
14	29	21	21.5	20.9
15	24	18.5	18.5	0.3
16	24.5	18.5	18.5	
17	37	20	26.5	
18	36	25.5	25.5	
19	33.5	24.	25	
20	33	23	24	17.2
21	32	21.5	25	
22	33.5	22	24.5	
23	35.5	21	24	
24	33	22	23	2.3
25	37	21.5	24	
26	30	23.5	23.5	
27	32	20.5	20.5	
28	35.5	21	24.5	
29	38	28.5	28.5	
30	21	17	18.5	2.7
Suma				118.9
Media	34.1	23.5		

09460

FE DE ERRATAS

Página	Párrafo	Reqlón	Dice	Debe decir
54	3°	19	Contolada	Controlada
91		14	Fotoenolpiruvato	Fosfoenolpiruvato
96	2°	8	Squeña	Sequía
97		7	de la semilla	en la semilla

